

**EVALUACIÓN TEÓRICO-EXPERIMENTAL EN CONFIRMACIÓN
METROLÓGICA DEL BANCO DE SUSPENSIÓN SEGÚN MODELIZACIÓN
DE UN CUARTO DE VEHÍCULO**

SANDRA JOHANA MENDOZA CARREÑO



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA
BUCARAMANGA
2012**

**EVALUACIÓN TEÓRICO EXPERIMENTAL EN CONFIRMACIÓN
METROLÓGICA DEL BANCO DE SUSPENSIÓN SEGÚN MODELIZACIÓN
DE UN CUARTO DE VEHÍCULO**

SANDRA JOHANA MENDOZA CARREÑO

**Trabajo de grado realizado mediante la modalidad de practica empresarial
como requisito para optar por el titulo de Físico**

Director:

JAIME ENRIQUE MENESES FONSECA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA**

2012

*Con gran orgullo dedico este
trabajo de grado a mi familia,
gracias a su apoyo incondicional
permitiendo lograr uno de mis
sueños.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que contribuyeron de alguna manera a la elaboración de este trabajo, siendo principalmente a mis padres y mis hermanos por su ayuda y apoyo incondicional.

A la escuela de física de la Universidad Industrial de Santander.

Al profesor Jaime Enrique Meneses Fonseca por su dirección en la realización de este proyecto de investigación y a sus importantes aportes y sugerencias.

A todos los profesores de la escuela de Física por compartir conmigo sus conocimientos y su gran amor por la Física desde los diferentes campos de aplicación.

Al centro de diagnostico automotor CDA SAN PEDRO por permitirme ser parte de su gran equipo de trabajo durante la realización de este trabajo.

A los compañeros de la carrera, ya que estos me enseñaron la importancia de luchar y competir por ser mejor cada día.

Y por ultimo a mis amigos Nancy Liliana Morales, María Mercedes Riaño La-Rotta y Nelson Anaya, quienes me apoyaron y motivaron en la realización de este trabajo.

NOTACION

En el desarrollo del presente trabajo se empleo y menciono una notación y parámetros necesarios, dados a continuación:

CDA: Centro de Diagnóstico Automotor

NTC: Norma Técnica Colombiana

EUSAMA: European Shock Absorber Manufacturer Association

A: Adhesión

M_{us} : Masa no suspendida

M_s : Masa suspendida

K_L : Constante de elasticidad de la masa no suspendida

K_s : Constante de elasticidad de la masa suspendida

b_l : Constante de viscosidad de la masa no suspendida

b_s : Constante de viscosidad de la masa suspendida

F_1 : Fuerza ejercida sobre la plataforma

F_2 : Fuerza debida al peso

L_1 : Longitud de separación entre la base fija y el pivote

L_2 : Longitud de la balanza traductora de fuerzas

KLx : Kilo Lux

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	18
1.1 CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR CDA SAN PEDRO	18
1.2 REVISIÓN TÉCNICO-MECÁNICA Y EMISIÓN DE GASES	
CONTAMINANTES	18
1.3 BANCO DE SUSPENSIÓN	21
1.4 PROCESO DE INSPECCIÓN VEHICULAR PARA EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	23
1.5 NORMA EUSAMA	27
1.5.1 Adhesión	27
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	29
3. MODELIZACIÓN	32
4. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA DEL BANCO DE SUSPENSIÓN	44
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA METROLOGÍA	46
4.1.1 Metrología Científica	46
4.1.2 Metrología Legal	46
4.1.3 Metrología Industrial	46
4.1.3.1 Calibración	46
4.2 PATRONES Y MATERIALES DE REFERENCIA	47
4.3 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN	47
4.4 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN	53
4.4.1 INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN DE LA BALANZA PATRÓN	54
4.4.2 Incertidumbre de la medición de la balanza traductora de fuerzas	56
4.4.3 Incertidumbre del Banco de Suspensión	58
4.5 ADQUISICIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES	59
CONCLUSIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características técnicas y dimensionales del banco de suspensión	22
Tabla 2. Interpretación Norma EUSAMA para la adhesión	28
Tabla 3. Parámetros de suspensión para un cuarto de vehículo	36
Tabla 4: Adherencia en función de la presión de inflado de los neumáticos	60
Tabla 5. Datos estadísticos de la adherencia en función de la presión de la llanta.	61
Tabla 6. Muestras obtenidas de un automóvil FIAT, modelo 1995	62
Tabla 7. Análisis estadístico del automóvil FIAT sobre el banco de suspensión	63
Tabla 8. Datos experimentales registrados por la fuerza ejercida por la balanza traductora de fuerzas en la plataforma del banco de suspensión	64
Tabla 9. En esta tabla se observan los datos promedios de la medición realizada al ubicar la balanza traductora de fuerzas sobre el banco de suspensión, aumentando la masa en la canasta de esta balanza	65
Tabla 10. Resolución, error e incertidumbre de los patrones utilizados en la medición	65
Tabla 11. Diferencia entre los datos experimentales registrados por el equipo y la balanza traductora de fuerza	66
Tabla 12. Cálculo de la incertidumbre del banco de suspensión	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistemas de suspensión en un vehículo automotor, imagen tomada de las pagina web	20
Figura 2. Banco de suspensión, diseño compacto, con monitor, imagen tomada del manual del fabricante	21
Figura 3. Vista frontal y superior del banco de suspensión FWT 2010 E, esta imagen es tomada del manual del fabricante	22
Figura 4. Visualización de una rueda del vehículo sobre la placa de suspensión, esta imagen es tomada del manual del fabricante	23
Figura 5. Placa o Plataforma vibratoria del banco de suspensión, imagen tomada con una cámara fotográfica Samsung antes de iniciar la prueba de inspección	25
Figura 6. Imagen del pantallazo en el monitor durante el proceso de prueba, imagen tomada con una cámara fotográfica Samsung	26
Figura 7. Resultado final del proceso de inspección vehicular del sistema de suspensión, imagen tomada con una cámara fotográfica Samsung	26
Figura 8. Modelo de cuarto de vehículo	30
Figura 9. Sistema de suspensión	33
Figura 10. Esquematzación del proceso, mediante el Toolbox de Control de MATLAB	34
Figura 11. Simulación de un cuarto de vehículo desplazándose en función de la altura de la carretera	37
Figura 12. Fuerza de contacto entre la rueda y la plataforma del banco de suspensión	39
Figura 13. Curva de resonancia en amplitud de la masa no-suspendida, es decir la rueda o llanta del vehículo	40
Figura 14. Curva de resonancia en amplitud de la masa suspendida, es decir la masa de un cuarto de vehículo	40

Figura 15. Curva de la función de transferencia del sistema	41
Figura 16. Comparación entre la amplitud de resonancia en función de la frecuencia de oscilación del sistema	43
Figura 17. Esquema de la confirmación metrológica según la NTC 10012, adoptada de la misma	45
Figura 18. Descripción de sistema electrónico del banco de suspensión	48
Figura 19. Balanza traductora de fuerzas por medio de equivalencia de torques	49
Figura 20. Balanza traductora de fuerzas, la fuerza se ejerce por medio de la equivalencia de torques	50
Figura 21. Balanza patrón y masas patrón antes de iniciar con el muestreo.	51
Figura 22. Fuerzas ejercida por el peso y la fuerza ejercida por la equivalencia de torques	52

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN TEÓRICO-EXPERIMENTAL EN CONFIRMACIÓN METROLÓGICA DEL BANCO DE SUSPENSIÓN SEGÚN MODELIZACIÓN DE UN CUARTO DE VEHÍCULO*

AUTOR: Mendoza Carreño, Sandra Johana**

PALABRAS CLAVES: Método o Norma EUSAMA, sistema de suspensión, banco de suspensión, adhesión, Toolbox de Control e incertidumbre de medición.

DESCRIPCIÓN

Este trabajo de grado realizado en la modalidad de practica empresarial presenta los resultados de investigación de un modelo matemático basado en un cuarto de vehículo localizado sobre la plataforma vibratoria del banco de suspensión del Centro de Diagnostico Automotor CDA SAN PEDRO, este banco de suspensión mide y reporta fuerzas estáticas y dinámicas que contribuyen al calculo de la adhesión de los vehículos automotores mediante el proceso de inspección vehicular. Esta modelización y simulación está caracterizada por la segunda ley de Newton, los elementos que constituyen los sistemas de suspensión McPherson de un vehículo y la norma EUSAMA.

La solución de las ecuaciones diferenciales del modelo matemático de un cuarto de vehículo sobre el banco de suspensión, se logran utilizando un programa computacional que mediante cálculos numéricos elaborados en el lenguaje del Toolbox de control de MATLAB que permite simular el funcionamiento del banco de suspensión y comprender las variables medidas por el equipo.

Verificando el método utilizado se calculó la fuerza de contacto, la adhesión y la función de transferencia, en función de la frecuencia de la plataforma vibratoria del banco de suspensión, además se realizó la comparación entre el sistema modelado y un sistema forzado amortiguado. Comprobando el correcto funcionamiento del equipo de medición en cuanto a la adherencia del vehículo por medio de los sistemas de suspensión, se realizó un procedimiento metodológico en confirmación metrológica y el cálculo de la incertidumbre de medición del equipo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Física, Jaime Enrique Meneses Fonseca (Director)

ABSTRACT

TITLE: Evaluation THEORETICAL-EXPERIMENTAL metrological confirmation BANK OF SUSPENSION BY MODELLING OF A QUARTER OF VEHICLE*

AUTHOR: Carreño Mendoza, Sandra Johana**

KEYWORDS: Method or Standard EUSAMA, quarter vehicle suspension system, suspension tester, adhesion, Control Toolbox and measurement uncertainty.

DESCRIPTION

This work of grade made in the form of business practice, presents the results of research on a mathematical model based on a fourth vehicle, located on the bank of the vibrating platform of suspension of the Diagnostic Center Automotive CDA SAN PEDRO, this bank of suspension measures and reports static and dynamic forces that contribute to the calculation of the accession of the motor vehicles through the process of vehicle inspection. This modeling and simulation is characterized by Newton's second law, the elements that constitute the McPherson suspension systems of a vehicle and a standard EUSAMA.

The solution of the differential equations of the mathematical model of a fourth of vehicle on the bank of suspension, are achieved using a computer program that processed through numerical computations in the language of the Toolbox of MATLAB control, that allows you to simulate the operation of the bank of suspension and understand the variables measured by the equipment.

By checking the method used was calculated the force of contact, the accession and the transfer function, depending on the frequency of the vibrating platform of the bank of suspension, in addition the comparison was performed between the modeling system and a system forced damped.

Verifying the correct operation of the measuring equipment with regard to the adhesion of the vehicle by means of the suspension systems, was a methodological procedure in metrological confirmation and the calculation of measurement uncertainty of the equipment.

* Degree Work

** Faculty of Science, School of Physics, Jaime Enrique Meneses Fonseca (Director)

INTRODUCCIÓN

En la evolución científica, económica, política y cultural de la sociedad, los diferentes medios de transporte han desempeñado un papel estratégico, permitiendo el traslado de personas, bienes y mercancías de todo tipo, de un lugar a otro. Estos tipos de desplazamientos suceden dentro de una misma ciudad, entre diferentes ciudades, entre distintos países pertenecientes al mismo continente u otro, pero en ocasiones este medio de transporte presenta fallas de fabricación, siendo necesario la implementación de nuevos diseños, materiales, mecanismos de resistencia y modelos mecánicos.

El primer prototipo de transporte terrestre fue un carruaje con caballos, donde estos debido a una fuerza de empuje, halaban el carruaje con sus pasajeros y mercancías sobre los mismos. En la década de 1880, debido a la inconformidad e inseguridad, se inicia la fabricación de los primeros carruajes sin caballos, gracias a las progresivas investigaciones se diseñaron nuevos prototipos, lográndose imponer el automóvil. En 1903, los automóviles ya alcanzaban velocidades superiores a los 110 km/h, siendo de altos costos y defectuosos. Desde entonces la industria de automóviles implementó materiales de bajo costo y accesibles a la sociedad, siendo el automóvil un bien indispensable para la sociedad actual.

Inicialmente los diferentes tipos de automóviles se diseñaron con el objetivo de transportar personas y diferentes materiales, pero debería realizarse en las mejores condiciones posibles, minimizando las vibraciones y aceleraciones producidas por la interacción con el entorno, lo cual provocará una menor fatiga y mayor grado de confort para los ocupantes, además de mitigar daños en la mercancía y en el vehículo, se debe resaltar la importancia en el confort del conductor, ya que este tendrá mayores niveles de concentración y seguridad.

La misión de mantener las mejores condiciones posibles durante el viaje hace referencia al sistema de suspensión, además de cumplir con un requisito importante de mantener el contacto entre el neumático y la superficie de la carretera. Esta segunda función es más importante que la primera, ya que de ella depende la posibilidad de controlar el vehículo, con lo cual el sistema de suspensión es muy importante en un automóvil.

Este sistema de suspensión se debe inspeccionar mediante pruebas técnico-mecánicas. En los Centros de Diagnostico Automotor (CDA) se realiza una prueba de suspensión mediante la revisión técnico-mecánica y emisión de gases contaminantes, esta prueba permite calcular el contacto entre el neumático y la superficie de la carretera por medio del porcentaje de adherencia. El CDA SAN PEDRO presta este servicio según normas nacionales, pero la entrega de sus resultados en el proceso de inspección debe estar dentro del margen de error permitido por el fabricante y por las normas nacionales e internacionales para esto la empresa debe mantener un control metrológico del equipo. De ahí surge la necesidad de vincular un físico en la empresa, el cual debido a su capacidad de comprender los fenómenos físicos que ocurren a su alrededor y al interior de un equipo, puede desglosar con detalle el funcionamiento del equipo y contribuir con las necesidades de la empresa mediante una metodología teórico-experimental.

En este trabajo de grado realizado mediante la modalidad de práctica empresarial se desarrolla una metodología teórico-experimental que permita de manera científica verificar el correcto funcionamiento del banco de suspensión. Esta metodología es necesaria ya que los CDA, debido a la reglamentación actual están en la obligación de realizar un procedimiento de verificación y calibración de sus equipos, empleados en el proceso de revisión técnico mecánica y emisión de gases contaminantes para la expedición del certificado de revisión técnica mecánica. La metodología desarrollada se realiza de manera secuencial partiendo de una etapa de observación y toma de datos característicos. En esta etapa se

observa como funciona el banco de suspensión cuando se utilizan en el proceso de expedición de dicho certificado. Resultado de esta primera etapa se plantea una hipótesis sobre el fundamento interno del equipo y sobre los conceptos mecánicos involucrados. La segunda etapa involucra el planteamiento de un método matemático de funcionamiento, soportado por la revisión bibliográfica. Visto como un sistema, el equipo se modelizó matemáticamente, regido por ecuaciones diferenciales de estado. La tercera etapa involucra un procedimiento de confirmación teórico-experimental a través de una etapa de simulación matemática. Los resultados obtenidos son comparados con resultados experimentales, con el fin de validar el modelo. Una vez se ha comprendido científicamente el funcionamiento del equipo se procede a realizar un análisis experimental en confirmación metrológica. En esta etapa se estudian los procedimientos diseñados por el constructor del equipo para verificar y calibrar, se realiza un análisis detallado del error o incertidumbre en las medidas realizadas por el equipo. De esta manera, la metodología desarrollada permite comprender el funcionamiento del equipo empleado en el CDA y actuar sobre él para verificar y calibrar su funcionamiento.

1. GENERALIDADES

1.1 CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR CDA SAN PEDRO

Los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) [1] son organismos de inspección vehicular para realizar el proceso de revisión técnico mecánica y emisión de gases contaminantes [2].

El Centro de Diagnóstico Automotor CDA SAN PEDRO es una organización dedicada a la inspección vehicular en la revisión técnico-mecánica y emisión de gases contaminantes [1,2], ampliamente conocida a nivel departamental, que trabaja con criterios de innovación tecnológica, altos estándares de calidad y un organismo de inspección vehicular clase B Tipo A. Comprometido a cumplir con las normas ambientales, de tránsito y la satisfacción de sus clientes mediante la entrega de un resultado confiable del estado de sus vehículos, dentro de sus labores como organismo de inspección vehicular, es proporcionar un certificado de revisión técnico-mecánica y emisión de gases contaminantes. Este certificado está regido por unos parámetros estándar para el correcto funcionamiento y el movimiento del vehículo dentro de un municipio, ciudad, departamento o país. Estos parámetros permiten determinar las condiciones en las que se encuentra el vehículo. Por ejemplo el ruido del motor debe estar dentro de los 200 *dB*, la intensidad de la luces delanteras, tanto derecha como izquierda debe estar en el rango de [0.5,3.5] *Kilo Lux (KLx)*.

1.2 REVISIÓN TÉCNICO-MECÁNICA Y EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES

La revisión técnico mecánica y emisión de gases contaminantes en los Centros de Diagnóstico Automotor [2], consiste en inspeccionar parámetros establecidos por el Ministerio de Tránsito y Normas Técnicas Colombianas (NTC) que permitan

conocer las condiciones físico-mecánicas en las que se encuentra un vehículo automotor. En esta inspección se observan y analizan aspectos como:

- a. Campo visual del vehículo
- b. Campo visual mínimo del conductor
- c. Inspección sensorial
 - Fugas en el motor
 - Ruido del motor
 - Sistema de combustible
 - Retrovisores
 - Carrocería y chasis
 - Limpia-parabrisas
- d. Inspección mecanizada
 - Sistema de frenos
 - Sistema de suspensión
 - Taxímetros
 - Dirección
 - Luces
 - Emisión de gases contaminantes

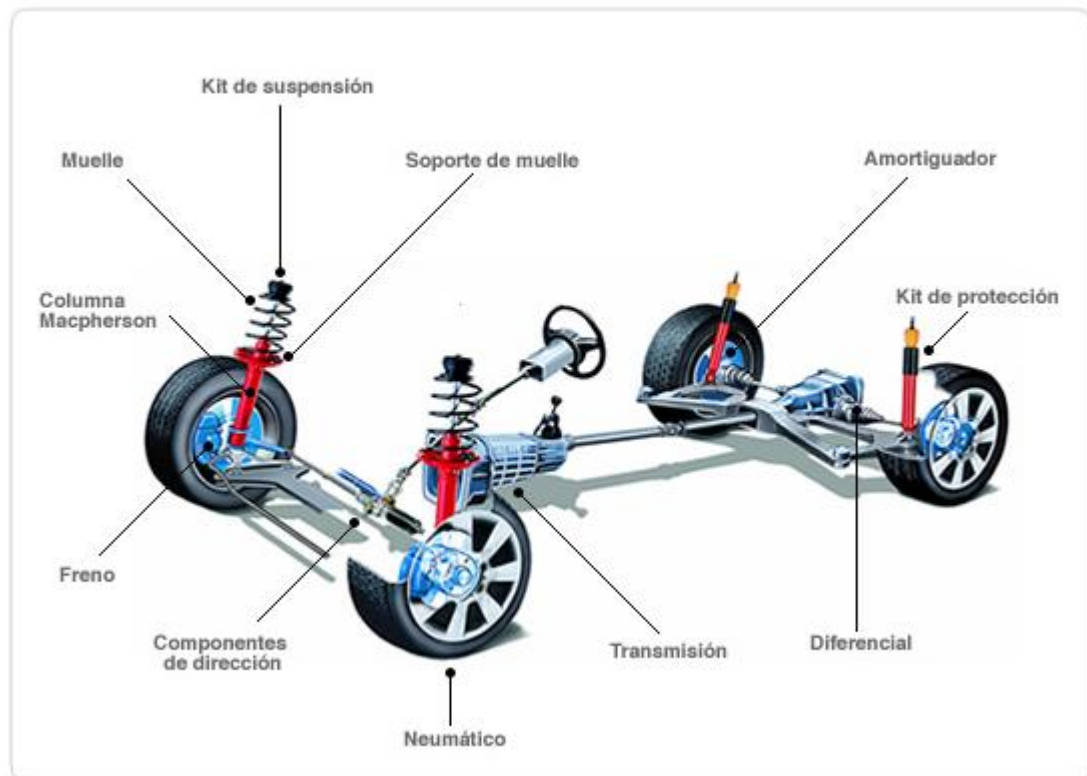
Donde el sistema de suspensión de un automóvil tiene como objetivo el mitigar las desigualdades del terreno sobre la cual éste se desplaza, manteniendo el contacto entre el neumático y el pavimento, proporcionando a los pasajeros un adecuado confort y seguridad en su trayectoria. Además protege la carga, las piezas del automóvil, evitando una inclinación excesiva de la parte delantera del vehículo durante el frenado.

Los sistemas de suspensión de los automóviles varían según el fabricante y el modelo del mismo, entre los sistemas de suspensión más utilizados por las empresas fabricantes, se tienen el sistema de suspensión McPherson. En la

figura 1, se observa este sistema que consta de: un sistema elástico, muelles, amortiguadores y barra estabilizadora independientes para cada uno de los ejes del vehículo.

Figura 1. Sistemas de suspensión en un vehículo automotor, imagen tomada de las pagina web [21]

SUSPENSIÓN



Ahora enfocando el mayor interés en la inspección mecanizada y resaltando el sistema de suspensión del vehículo automotor, se debe considerar el equipo de medición para realizar esta inspección y bajo que parámetros físicos y mecánicos estar sometido.

1.3 BANCO DE SUSPENSIÓN

El equipo de medición manipulado en el proceso de inspección vehicular en el análisis del sistema de suspensión es un banco de suspensión o suspensiómetro. En el centro de diagnóstico automotor CDA SAN PEDRO, este equipo utilizado es el fabricado por la Empresa Alemana CARTEC, según la referencia FWT 2010 E (Figura 2).

Figura 2. Banco de suspensión, diseño compacto, con monitor, imagen tomada del manual del fabricante



El banco de suspensión FWT 2010 E de CARTEC, consta de un sistema mecánico y un sistema eléctrico, el cual ha sido diseñado como un dispositivo de medición de los parámetros relacionados con el sistema de suspensión de carros o camionetas de masa dinámica máxima de 1000 Kg por rueda y con un sistema de masa estática máxima de 1500 Kg por rueda. Este equipo consta de dos placas vibratorias, las cuales tienen unas dimensiones y características técnicas, para su funcionamiento. En la figura 3, se puede apreciar los planos del equipo, desde una vista frontal y una vista superior, donde se especifican las dimensiones de cada una de sus placas y la separación entre ellas.

Figura 3. Vista frontal y superior del banco de suspensión FWT 2010 E, esta imagen es tomada del manual del fabricante

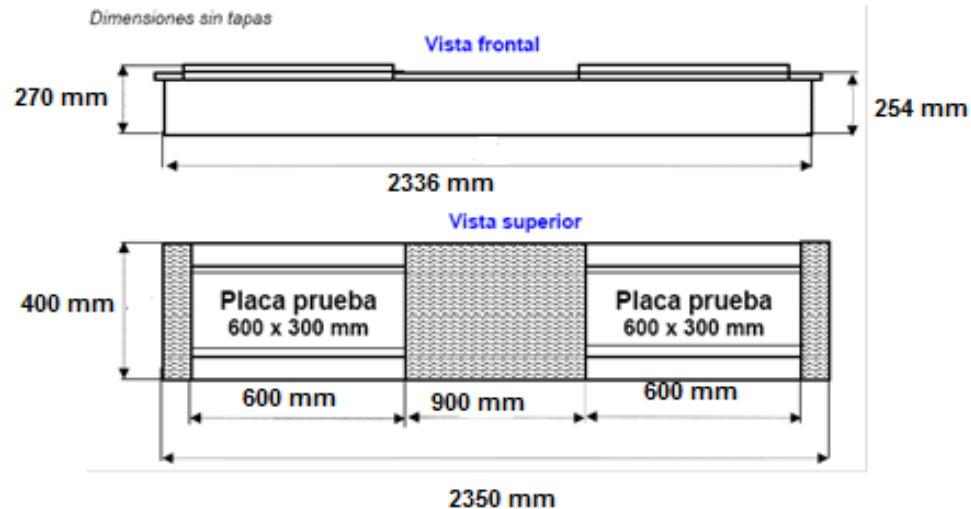


Tabla 1. Características técnicas y dimensionales del banco de suspensión

SISTEMA MECANICO			
Largo de la estructura	400 mm	Peso aproximado	320 Kg
Alto de la estructura	255 mm	Ancho de la estructura	2350 mm
SISTEMA ELECTRICO			
Frecuencia del excitador	24 Hz	Elevación del excitador	6 mm
Potencia del motor	3 KW		
CAPACIDAD			
Principio de medición	EUSAMA	Carga dinámica mínima de rueda	75 Kg
Conectividad	RS232	Carga dinámica máxima de rueda	1000 Kg
Carga estática mínima de rueda	75 Kg	Carga estática máxima de rueda	1500 Kg
MEDICION			
Resolución de la lectura	1 Kg	Exactitud de la medida en peso	± 3%

En la figura 4 se observa el banco de suspensión listo para ser usado por un inspector de línea en la revisión técnico mecánica y emisión de gases contaminantes del CDA SAN PEDRO.

Figura 4. Visualización de una rueda del vehículo sobre la placa de suspensión, esta imagen es tomada del manual del fabricante



El banco de suspensión FWT 2010 E, analiza los parámetros del sistema de suspensión, especificados a continuación:

- El peso estático para cada rueda, eje y peso total en Newton.
- Índice de adherencia al suelo de acuerdo a las especificaciones EUSAMA en %.
- Diferencia de agarre al suelo para la rueda derecha e izquierda en %.
- Índice de amortiguamiento para cada rueda individual.
- Índice de rigidez de la rueda.

1.4 PROCESO DE INSPECCIÓN VEHICULAR PARA EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El banco de suspensión es un equipo de comprobación de placas oscilantes el cual se basa en el método recomendado por la Asociación Europea de

Fabricantes de Amortiguadores denominado como EUSAMA [5]. Estos equipos permiten comprobar la eficacia de la suspensión rueda por rueda y la asimetría de la suspensión entre las ruedas de un mismo eje.

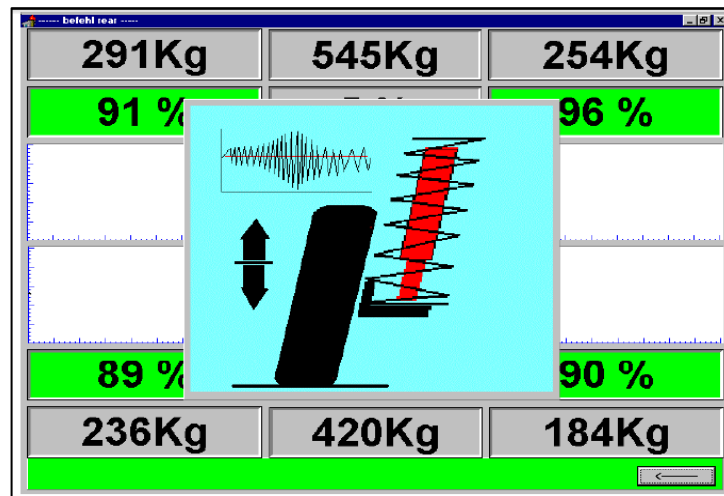
En el proceso de inspección para el sistema de suspensión, el vehículo debe estar encendido (figura 1.5), se recomienda hacer esta comprobación “en caliente”, es decir, después que el automóvil haya circulado o transitado durante un tiempo determinado. De esta forma el aceite de los amortiguadores se ha calentado y es menos viscoso, y su fluidez será mayor, obteniendo así las condiciones más adecuadas a las habituales en marcha. En la figura 5 se observa la placa del banco de suspensión y un vehículo dirigiéndose a este para iniciar la prueba, se debe ubicar el eje delantero del vehículo sobre el banco de pruebas de suspensión de forma centrada. El inspector registra sus datos: Nombre y contraseña, dando inicio a la prueba. El sistema del banco de suspensión es automático, este toma la medida del peso estático y luego empieza a oscilar con una frecuencia y una amplitud dada por el fabricante y por la norma EUSAMA. Para iniciar el proceso de oscilación este equipo debe tener un peso mínimo 75 Kg, posteriormente se realiza el calculo para el eje trasero, es decir para cada una de las llantas traseras. Es decir el equipo mide el peso dinámico constantemente y selecciona el valor mínimo encontrado, que es dividido por el peso estático medido en reposo y multiplicado por 100 para obtener la eficacia por rueda en forma porcentual %.

Figura 5. Placa o Plataforma vibratoria del banco de suspensión, imagen tomada con una cámara fotográfica Samsung antes de iniciar la prueba de inspección



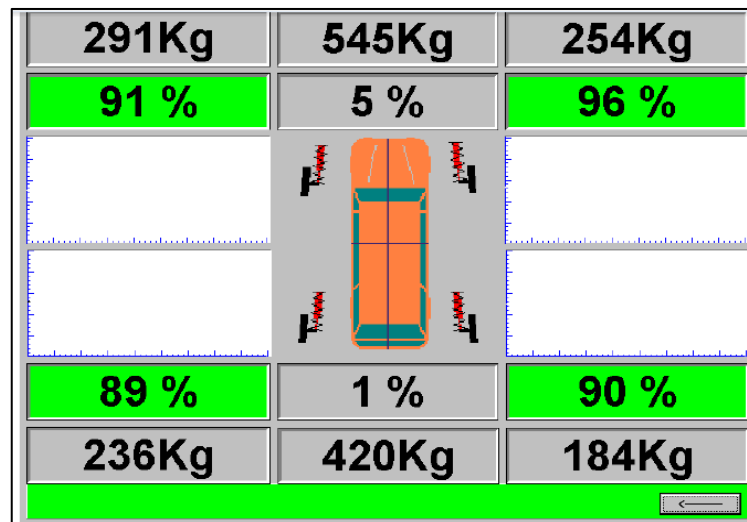
La prueba inicia para el lado izquierdo y a continuación el derecho. Aparece una imagen en el monitor del equipo, en la cual se representa el proceso de la prueba. En la figura 6 se observa el peso de la cada una de las llantas delanteras, el peso total por eje, es decir la suma de estos dos pesos, también se observa la adherencia para cada una de sus llantas en forma porcentual.

Figura 6. Imagen del pantallazo en el monitor durante el proceso de prueba, imagen tomada con una cámara fotográfica Samsung



Cuando el equipo realiza la medición de cada una de las llantas del vehículo este muestra una imagen en el monitor (figura 7), donde se observan los pesos en Kg de cada una de las ruedas y la adherencia de las mismas.

Figura 7. Resultado final del proceso de inspección vehicular del sistema de suspensión, imagen tomada con una cámara fotográfica Samsung



1.5 NORMA EUSAMA

En 1971 el grupo EUSAMA [5,6], establece un conjunto de guías para la evaluación de suspensiones en los vehículos automotores [1,2], denominadas también recomendaciones del desempeño de la suspensión de un vehículo. La norma EUSAMA en principio calcula la fuerza de contacto entre la llanta y la plataforma según la deformación del resorte de la plataforma debido a la vibración de la misma. De igual forma, la norma debe considerar la frecuencia de oscilación en un rango determinado. Es decir la norma impone las condiciones necesarias para evaluar el comportamiento dinámico de la suspensión del automotor, variando la frecuencia de oscilación entre 0 a 25 Hertz . La simulación que se realizara a partir del modelo matemático de la suspensión del vehículo permite justificar el rango frecuencial utilizado por la norma. De igual forma la norma del rango de vibración a que debe estar sometida la plataforma del banco de suspensión de 3 a 6 milímetros.

1.5.1 Adhesión. Los equipos diseñados para evaluar la adhesión de la llanta sobre el suelo según la Norma EUSAMA, hacen vibrar la llanta entre 0 a 25 Hertz con una amplitud de 3 a 6 milímetros. El equipo posee un control de fuerza que mide la fuerza vertical de contacto en función de la frecuencia.

La adhesión se define como la relación entre el mínimo valor de la envolvente superior de la señal de fuerza vertical de contacto ejercida sobre una rueda y la fuerza de contacto medida en 0 Hertz; teniendo en cuenta que el valor de la envolvente superior es el menor valor de fuerza alcanzado en todo el recorrido de la prueba. Este valor nos indica cual es el estado actual de la suspensión que varia en los siguientes rangos véase tabla 2 [2,3].

En la tabla 2 se muestran la interpretación de la norma EUSAMA para la adhesión [3].

Tabla 2. Interpretación Norma EUSAMA para la adhesión

NORMA EUSAMA		
RANGO DE ADHESIÓN	UNIDAD	INTERPRETACIÓN
0	%	Ningún contacto dinámico de la llanta
1 a 20	%	Pobre contacto dinámico de la llanta
21 a 40	%	Aceptable contacto dinámico de la llanta
41 a 60	%	Buen contacto dinámico de la llanta
61 a 100	%	Excelente contacto dinámico de la llanta

La expresión matemática que muestra la adhesión esta dada por la relación en porcentaje entre la fuerza mínima vertical de contacto entre la rueda y la plataforma del banco de suspensión registrada durante la oscilación vertical, con respecto al peso vacío registrado en la misma rueda [2], tal que:

$$A = 100 \left(\frac{F_{min}}{W} \right) \quad (1.1)$$

Donde: A: Adherencia en porcentaje [%]

F_{min} : Fuerza minima vertical de contacto, durante la oscilación, [N]

W: Peso debido a la masa en vacio, es decir masa por gravedad [N]

Es decir A define el estado de la suspensión en términos de: Ningún, Pobre, Aceptable, Bueno y Excelente contacto dinámico.

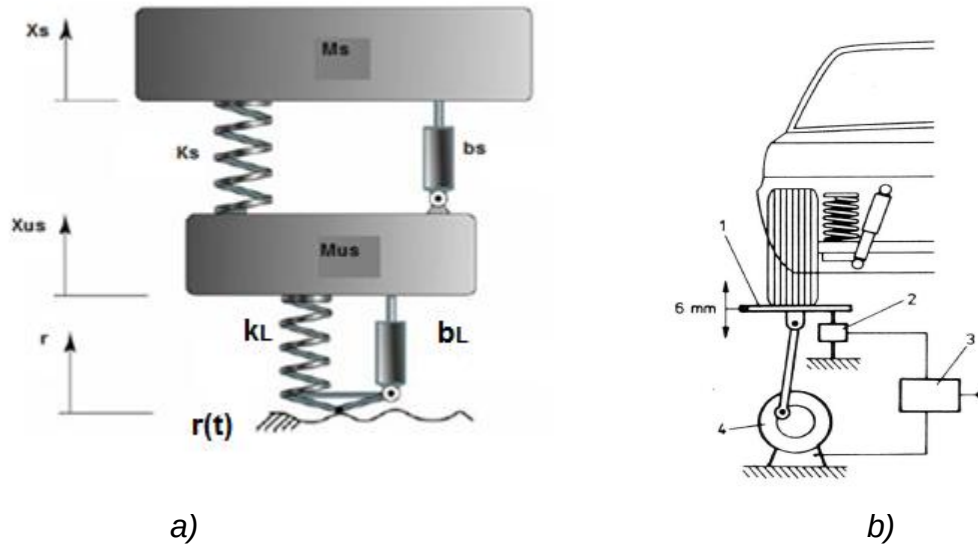
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con base en la observación experimental mostrada en el capítulo 1, se permiten plantear las siguientes hipótesis:

1. La plataforma sostiene el equivalente a una cuarta parte de la masa total del vehículo.
2. La suspensión del vehículo posee un resorte de constante elástica y un amortiguador con coeficiente de viscosidad conocidos.
3. La llanta debido a la recámara de aire puede ser modelada por un resorte de constante conocida.
4. El espesor de las paredes de las llantas genera un amortiguamiento al contacto con la plataforma descrita por un coeficiente de amortiguamiento.

La revisión bibliográfica y las hipótesis planteadas permiten definir un modelo de cuarto de vehículo [3] sobre la plataforma del banco de suspensión mostrado en la figura 8(a), con el cual se hará una descripción del comportamiento del equipo. Este resultado se tomará de referencia para iniciar un proceso de confirmación metrológica del mismo, con el fin de mantenerlo dentro del rango permitido por el fabricante. Es decir para la modelización del cuarto de vehículo se consideró un sistema masa resorte, ubicando el eje de referencia sobre la plataforma del banco de suspensión.

Figura 8. Modelo de cuarto de vehículo



a) Modelización de un cuarto de vehículo sobre la plataforma del banco de suspensión. b) Diagrama de un cuarto de vehículo sobre el banco de suspensión, donde; 1: plataforma del banco de suspensión, 2: celda de carga, medidor de la deformación del sistema, 3: sistema electrónico y 4: motor.

En la figura 8(a) se puede visualizar el modelo gráfico denominado cuarto de vehículo empleado para estudiar el sistema de suspensión, considerando un sistema masa resorte; donde M_s es la masa suspendida (masa de un cuarto de vehículo), M_{us} es la masa no suspendida (masa del sistema de suspensión, amortiguación, masa de los discos, muelles y plataforma), los términos K_s y b_s son las constantes de elasticidad y viscosidad de la masa suspendida respectivamente y K_L y b_L , son las constantes de elasticidad y viscosidad de la masa no suspendida (llanta-rueda) respectivamente. Generalmente el coeficiente de viscosidad de la masa no suspendida se considera despreciable [3]. La excitación masa-resorte es el término $r(t)$ es la topografía de la carretera, la cual presenta cierta rugosidad que varía con el tiempo.

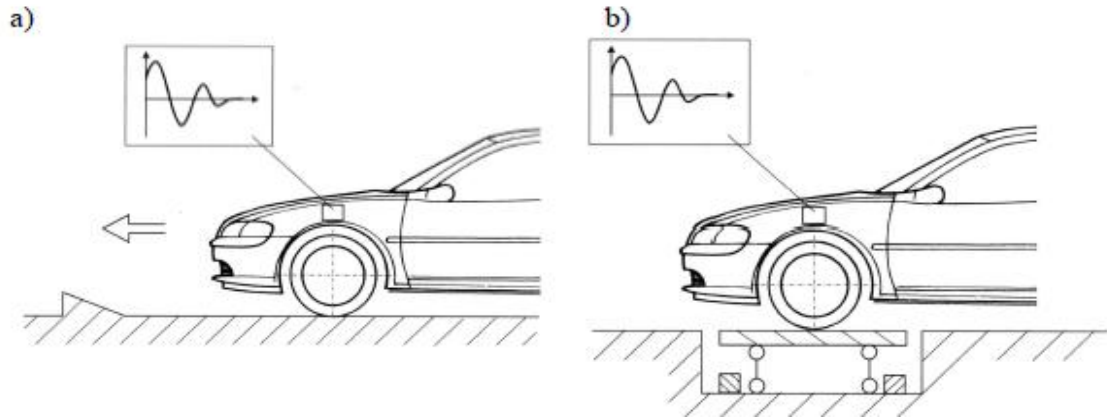
Una vez planteado el modelo matemático, se deben definir las ecuaciones de estado que rigen el modelo. Estas ecuaciones deben ser función de los parámetros del modelo y de la señal de excitación. Al resolver las ecuaciones se debe obtener la señal temporal que define la posición de la masa suspendida y no suspendida en función del tiempo. De estas señales se deben obtener la fuerza de contacto que se emplea en el cálculo de la adhesión. La confrontación con datos experimentales validará el modelo. Es importante destacar que el dato que se recupera para calcular la adhesión es un dato global, valores específicos como el retardo temporal de la señal de salida con respecto a la señal de entrada no es importante. Se deben obtener amplitudes máximas y frecuencias de resonancia como se estudiara en la sección siguiente.

3. MODELIZACIÓN

El desplazamiento de un vehículo presenta tres tipos de oscilaciones: A) Movimiento transversal, debido a las fuerzas de inercia durante la aceleración o frenado, provocando una oscilación en torno al eje transversal del mismo. B) Desviación lateral, debido a la fuerza centrífuga, cuando el vehículo toma una curva, siendo una oscilación en torno al eje longitudinal del mismo y C) Movimiento longitudinal del chasis. Todas estas oscilaciones pueden y deben controlarse mediante los elementos de suspensión y amortiguación, para así mantener la mejor estabilidad posible del vehículo [4].

El movimiento de un vehículo se estabiliza por tres elementos: los neumáticos, quienes absorben principalmente los impactos, los muelles y los amortiguadores, siendo los dos últimos los mas importantes. Los muelles o resortes helicoidales, son elementos elásticos que sostienen el peso del vehículo y su misión es absorber los impactos que sufren las ruedas al chocar sobre baches y otras irregularidades del terreno. Si los muelles estuvieran solos, cuando la rueda recibiera el impacto, este se transmitiría al muelle que se comprimiría absorbiendo dicho impacto, es decir habría un almacenamiento de energía cinética. Una vez comprimido el muelle, debe liberar la energía cinética recibida, regresando a su forma inicial, es decir a su estado antes de la compresión, produciéndose la extensión. Pero si esta no se controlará sería muy brusca, la rueda podría rebotar sobre el terreno, produciéndose una sucesión de comprensiones y extensiones en movimientos oscilatorios que podrían provocar saltos de las ruedas, lo que seria perjudicial para la motricidad y estabilidad del vehículo. Para controlar estos rebotes están los amortiguadores hidráulicos que absorben a su vez la energía de los muelles y como su nombre lo indica, amortiguan las bruscas reacciones del muelle con el fin de que las ruedas siempre estén en contacto con el suelo y proporcionen la estabilidad necesaria, ver figura 9 [8].

Figura 9. Sistema de suspensión



a) Curva representativa del desplazamiento de un vehículo sobre la carretera, b) curva representativa del vehículo en el banco de suspensión, imagen tomada de [9].

En la figura 9 (a), se realizó un modelo grafico del sistema de suspensión de un cuarto de vehículo sobre el banco de suspensión [9] y se bosquejó un modelo matemático basado en la segunda ley de Newton que permitió observar el desplazamiento vertical sobre el banco de suspensión.

Las ecuaciones diferenciales que modelan este sistema, según la segunda Ley de Newton son:

$$M_s \ddot{X}_s = -K_s(X_s - X_{us}) - b_s(\dot{X}_s - \dot{X}_{us}) \quad (3.1)$$

$$M_{us} \ddot{X}_{us} = K_s(X_s - X_{us}) + b_s(\dot{X}_s - \dot{X}_{us}) - K_L(X_{us} - r) \quad (3.2)$$

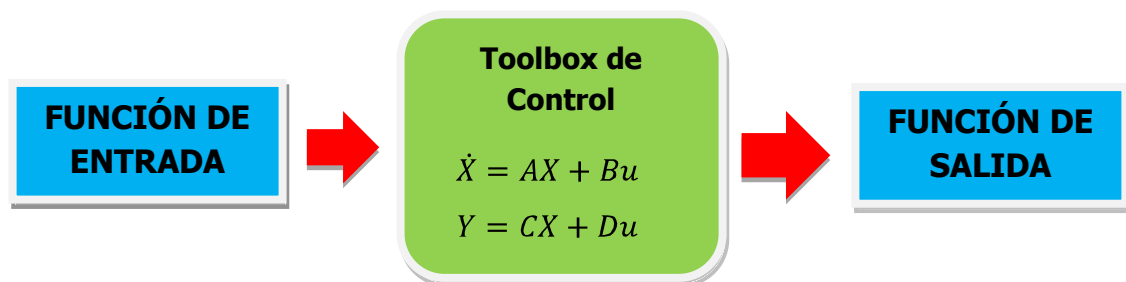
Donde $\ddot{X}_s$ y $\ddot{X}_{us}$ son las aceleraciones del cuarto de vehículo y de la llanta respectivamente. Las ecuaciones diferenciales (3.1) y (3.2), definen el modelo matemático, con coeficientes constantes. Al resolver estas ecuaciones se obtendrán los desplazamientos de la masa suspendida y no-suspendida en función del tiempo $X_s(t)$ y $X_{us}(t)$ respectivamente para cualquier topografía $r(t)$,

se desarrollo un programa en MATLAB empleando la caja de herramientas del Toolbox de control.

La caja de herramientas del Toolbox permiten: la simulación de sistemas mecánicos de solución numérica por medio de un método matricial, realizando análisis dinámicos, cinemáticos, de dinámica inversa y también estática. La ventaja de utilizar este software de simulación es que permite realizar el análisis matemático y obtener importantes resultados de una forma eficaz y rápida. Otra de las ventajas de este programa de simulación es que su complejidad no aumenta a medida que se añaden más grados de libertad, cosa que no sucede con el análisis matemático.

La simulación sustituye de cierta forma al análisis físico-matemático, pero cabe destacar que para realizar una simulación que represente de buena forma a la realidad se deben tener muy claros los conceptos y principios fundamentales involucrados, ya que ningún software emulará en forma totalmente fidedigna a un fenómeno físico.

Figura 10. Esquematización del proceso, mediante el Toolbox de Control de MATLAB



El Toolbox de control representa diferentes estrategias temporales, que se adapta al sistema de ecuaciones (3.1) y (3.2) es reportado en la figura 10 que corresponde a:

$$\dot{X} = AX + Bu \quad (3.3)$$

$$Y = CX + Du \quad (3.4)$$

Donde A, B, C y D, son matrices. Si se define $u = \dot{r}$, la variable de entrada igual a la velocidad de la plataforma, las matrices A, B, C y D, Y las variables de control y X variables de salida expresadas por:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_L}{M_{us}} & -\frac{b_s}{M_{us}} & -\frac{K_s}{M_{us}} & -\frac{b_s}{M_{us}} \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{b_s}{M_s} & -\frac{K_s}{M_s} & -\frac{b_s}{M_s} \end{bmatrix}, \quad (3.5)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.6)$$

$$B = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3.7)$$

$$D = 0, \quad (3.8)$$

$$Y = \begin{bmatrix} X_{us} - r \\ X_{us} \\ X_s - X_{us} \\ \dot{X}_{us} \end{bmatrix}, \quad (3.9)$$

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \dot{X}_{us} - \dot{X}_s \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

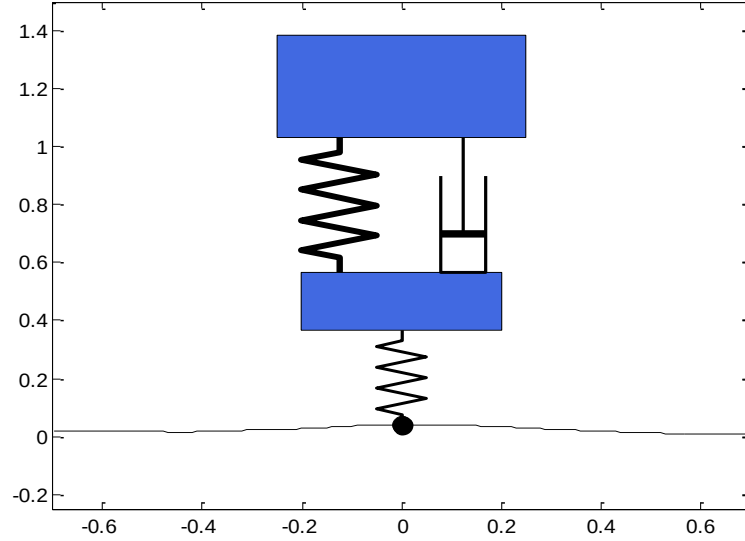
Se obtienen las ecuaciones (3.1) y (3.2) al remplazar (3.3.) y (3.4). Con el fin de evaluar el sistema de ecuaciones, se genera una señal $Z = f(x)$ que define el perfil de la superficie rugosa de la carretera. Si el automóvil se asume que se desplaza a una velocidad de 20 kilómetros por hora, la señal de excitación es $u(t) = \dot{Z}$. Los parámetros constantes del sistema se asignaron con valores promedios de una suspensión McPherson de un automóvil de 218 kilogramos típico, valores mostrados en la tabla 3. Empleando la función `ss.mat` se definieron las matrices A, B, C y D del modelo y la función `lsim.mat` del Toolbox de control se determinó X, Y del sistema de ecuaciones (3.3) y (3.4). Con la ecuación (3.9) se obtuvieron X_s y X_{us} . Utilizando los parámetros registrado en la tabla 3, con estos valores se realizó la simulación figura (9) que ilustra cómo el vehículo y su llanta se desplazan verticalmente en función de la topografía del terreno.

Tabla 3. Parámetros de suspensión para un cuarto de vehículo

Parámetro	Masa [Kg]	Coeficiente Elástico [kN/m]	Coeficiente de amortiguación [Kg/s]
Masa no-suspendida	35	---	---
Masa suspendida	173	---	---
Llanta	20	127,200	---
Resorte	---	18,709	---
Amortiguador	---	---	1300

En la simulación mediante la Toolbox de control de MATLAB, se considero, solamente una cuarta parte del peso total del vehículo, desplazándose, lo cual permite ver la oscilación debida a la contracción y expansión de sus muelles y el sistema de amortiguación, figura 9.

Figura 11. Simulación de un cuarto de vehículo desplazándose en función de la altura de la carretera



Donde el cuadro superior hace referencia a la masa suspendida, el cuadro siguiente a la masa no suspendida, la línea horizontal a la carretera y el círculo representa la rueda del vehículo.

Con el fin de simular los eventos que ocurren al automóvil en la realización de la norma EUSAMA, genera una señal de excitación definida por:

$$r(t) = r_m \cos(2\pi f t) \quad (3.11)$$

Donde la frecuencia de la señal de excitación es directamente proporcional al tiempo variando entre 0 y 25 Hertz y la amplitud r_m varía dentro del intervalo de [3,6] milímetros, talque $f = t$, lo cual implica que la señal de excitación esta dada por:

$$r(t) = r_m \cos(2\pi t^2) \quad (3.12)$$

Considerando $r_m = 6 \text{ mm}$.

Introduciendo esta función de entrada en la Toolbox de control se obtiene la función de salida definida por Y en la ecuación (3.9). De este valor se calcula X_s en función del tiempo.

La fuerza de contacto esta dada por la fuerza normal debida al contacto entre la rueda y la plataforma vibratoria. Pero cabe resaltar que cuando la plataforma no esta vibrando la fuerza de contacto esta dada solo por la fuerza estática, dada por:

$$F_c = (M_s + M_{us})g \quad (3.13)$$

En el momento en que la plataforma empieza su proceso de oscilación la fuerza de contacto cambia y se considera la fuerza dinámica debida a la vibración de la plataforma; tal que la fuerza de contacto esta dada en función de la frecuencia de excitación del oscilador, la cual esta definida en principio por la elongación del resorte, por lo tanto, la fuerza de contacto esta dada por:

$$F_c = (M_s + M_{us})g + K_L(X_{us} - r) \quad (3.14)$$

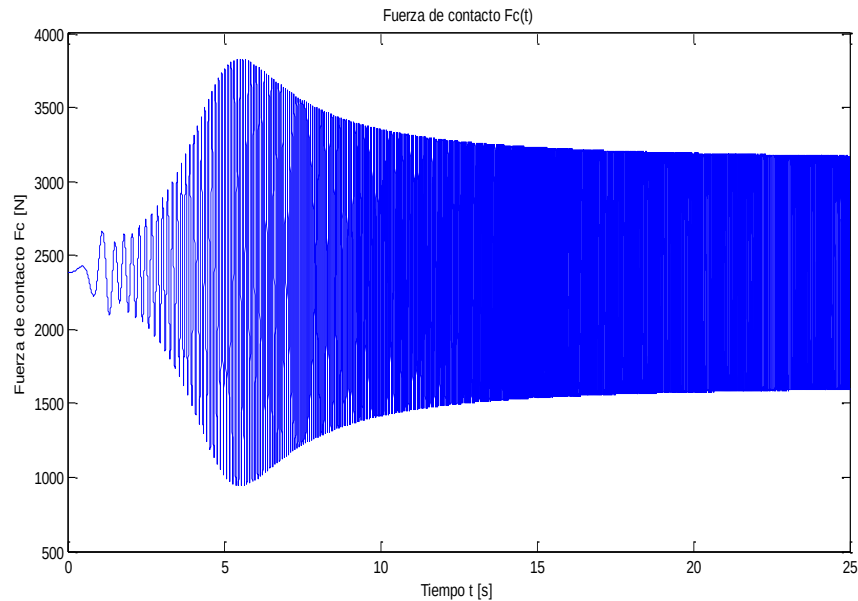
La figura 12 muestra la fuerza de contacto obtenida de la simulación inicia en el peso estático $F_c = 2384 \text{ N}$, es decir antes de iniciar la vibración. Después de iniciar el fenómeno de vibración ocurren dos resonancias de amplitud; que deben ser explicadas a partir de la función de transferencia del sistema.

La función de transferencia se calcula como la relación entre la amplitud de oscilación y la amplitud de entrada en función de la frecuencia o del tiempo debido a la dependencia lineal entre los dos, tal que:

$$H(t) = \frac{X_{us}(t)}{r(t)} \quad (3.15)$$

Empleando el modelo matemático se generan señales temporales a frecuencia y tiempo variable entre 0 a 25 Hertz con variaciones de un $\Delta t = 0.01 \text{ Hz}$. Para cada frecuencia se determino la amplitud de vibración de la masa suspendida y la amplitud de la masa no suspendida.

Figura 12. Fuerza de contacto entre la rueda y la plataforma del banco de suspensión



En una frecuencia de oscilacion de 0 a 25 Hz, obteniendo un valor de adhesión de 39,68% para el modelo virtual.

La figura (13) se observa el desplazamiento de la masa no suspendida y (14) el desplazamiento de la masa suspendida en función del tiempo o la frecuencia.

Figura 13. Curva de resonancia en amplitud de la masa no-suspendida, es decir la rueda o llanta del vehículo

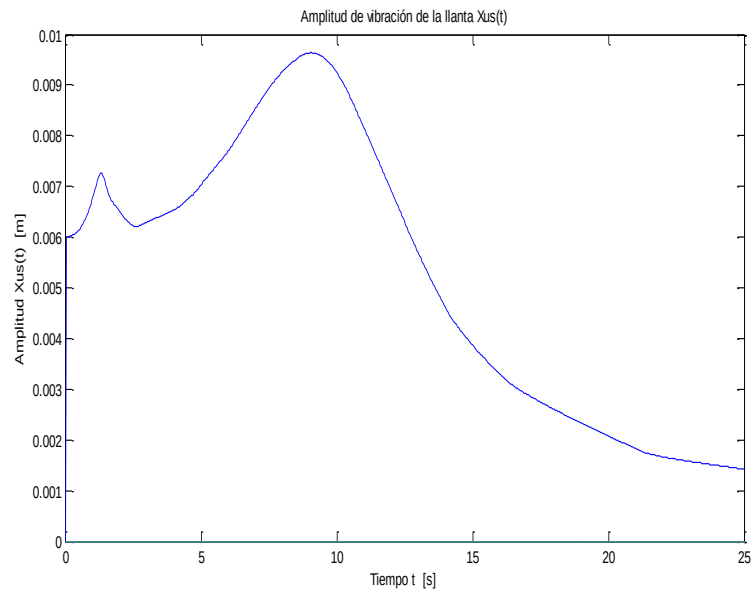
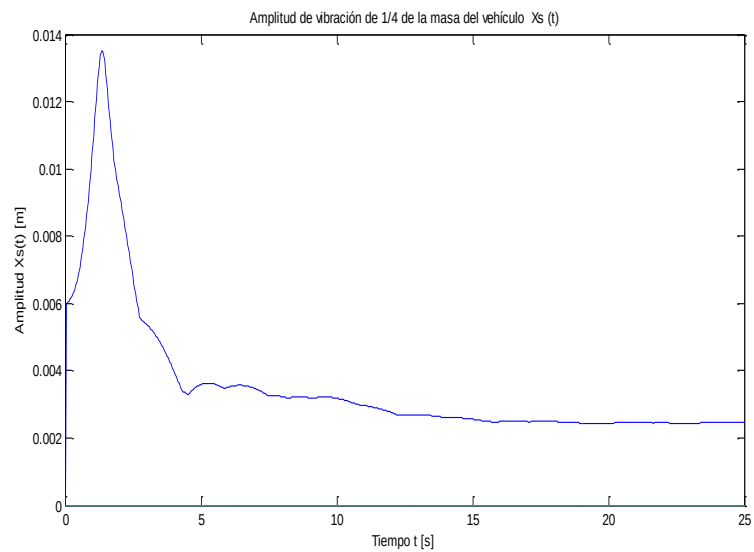
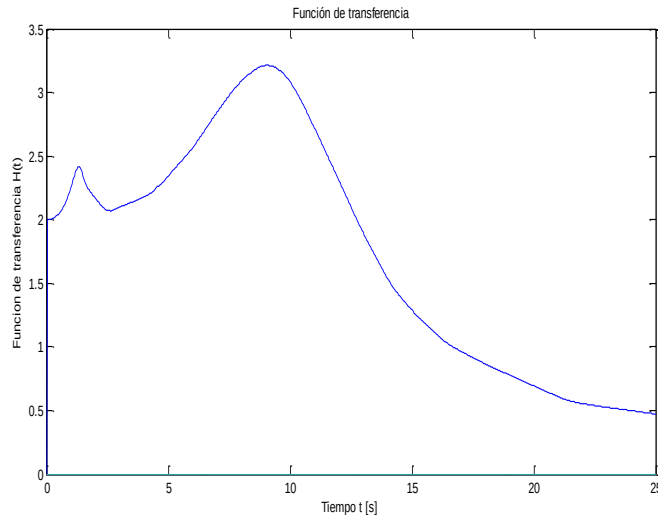


Figura 14. Curva de resonancia en amplitud de la masa suspendida, es decir la masa de un cuarto de vehículo



De las figuras se observa que la masa suspendida entra en resonancia en amplitud para una frecuencia de 1.35 Hz. y para la masa no suspendida tiene un máximo de resonancia en 9.2 Hz. Esto demuestra los máximos encontrados en la fuerza de contacto de la figura 12. El mínimo de la fuerza de contacto es el mínimo valor de la envolvente, $F_c = 945,9 \text{ N}$, obteniéndose una adhesión de $A = 39,68 \%$.

Figura 15. Curva de la función de transferencia del sistema



Ahora bien si la masa del cuarto de vehículo tiene a un valor infinito, se observa que el sistema presenta una oscilación forzada amortiguada, donde la función de transferencia del sistema, se pueden comparar con la curva de variación de amplitud con la fuerza aplicada del sistema de oscilación.

En la gráfica 15 (b), se considera un problema de oscilación forzada amortiguada, donde la partícula esta sometida a una fuerza elástica, la ecuación diferencial que representa el sistema está dada por:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \lambda \frac{dx}{dt} + kx = F_o \cos(w_f t) \quad (3.17)$$

Suponiendo que $2\gamma = \frac{\lambda}{m}$ y $w_0^2 = \frac{k}{m}$, se puede escribir de la forma:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + w_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos(w_f t) \quad (3.18)$$

La solución a la ecuación (3.18) tiene dos componentes la solución particular y la homogénea, la solución homogénea describe tres tipos de amortiguamiento:

- Amortiguamiento fuerte o supercrítico, $\lambda > \lambda_c$
- Amortiguamiento crítico $\lambda = \lambda_c$
- Amortiguamiento débil o subcrítico, $\lambda < \lambda_c$

Donde: λ_c es el coeficiente de amortiguamiento crítico definido como: $\lambda_c = 2mW_0$ y, W_0 es la pulsación de vibración libre no amortiguada o pulsación natural calculada como: $w_0^2 = \frac{k}{m}$, Esta expresión representa un movimiento transitorio que se extingue en el tiempo.

El interés se centra en la vibración estacionaria representada por la solución particular de la ecuación (3.18), la solución particular esta dado por:

$$x_p(t) = A \sin(w_f t - \alpha) \quad (3.19)$$

Donde la amplitud de oscilación es:

$$A = \frac{F_0/m}{\sqrt{(w_f^2 - w_0^2)^2 + 4\gamma^2 w_f^2}} \quad (3.20)$$

Y la fase inicial del desplazamiento por:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{w_f^2 - w_0^2}{2\gamma w_f} \right) \quad (3.21)$$

Cabe resaltar que tanto la amplitud como la fase dependen de la frecuencia de la fuerza oscilante.

Nótese que tanto la amplitud en la figura 16 (a) como en la figura 16 (b) son equivalentes. La amplitud tiene un máximo pronunciado cuando el denominador

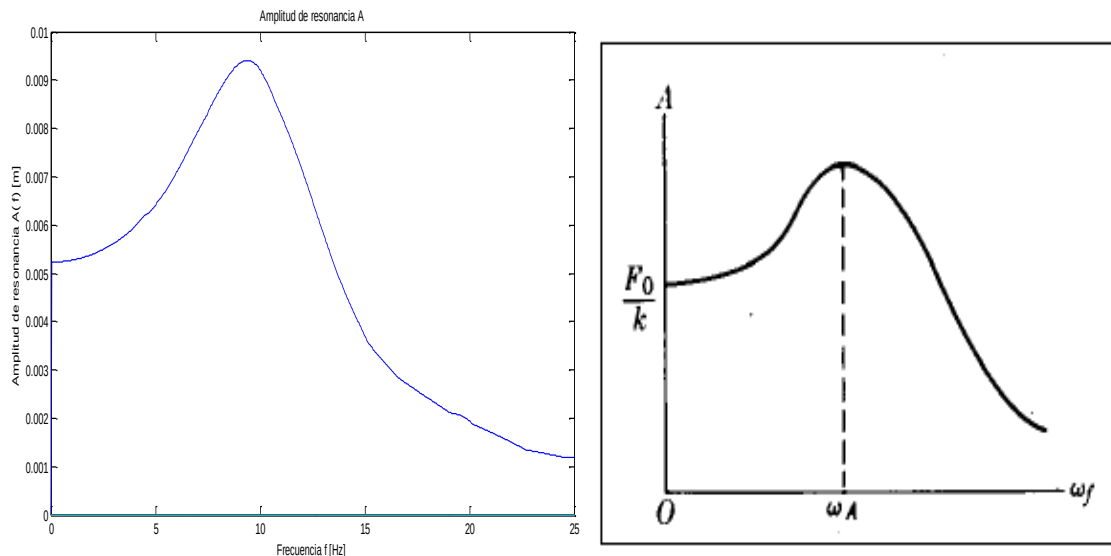
de la ecuación (3.20) tiene un valor mínimo. Esto ocurre para la frecuencia w_A dada por:

$$w_A = \sqrt{w_0^2 - 2\gamma^2} = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{\lambda^2}{2m^2}} \quad (3.22)$$

Cuando la frecuencia w_f de la fuerza aplicada es igual a la frecuencia w_A , se dice que hay resonancia de amplitud. Cuanto menor es el amortiguamiento mas pronunciada es la amplitud de resonancia. En este caso la resonancia de amplitud para el sistema cuando la masa del cuarto de vehículo es demasiado grande se puede hablar de un sistema forzado amortiguado.

La figura 16(a) muestra la función de transferencia del sistema simulado cuando la masa suspendida es muy grande, se obtiene un comportamiento idéntico a la respuesta del sistema de masa-resorte forzado amortiguado de la figura 16 (b).

Figura 16. Comparación entre la amplitud de resonancia en función de la frecuencia de oscilación del sistema



En la a) se tiene la curva calcula con el programa y los datos técnicos del equipo, en b) se tiene la curva de variación de la amplitud en función de la frecuencia

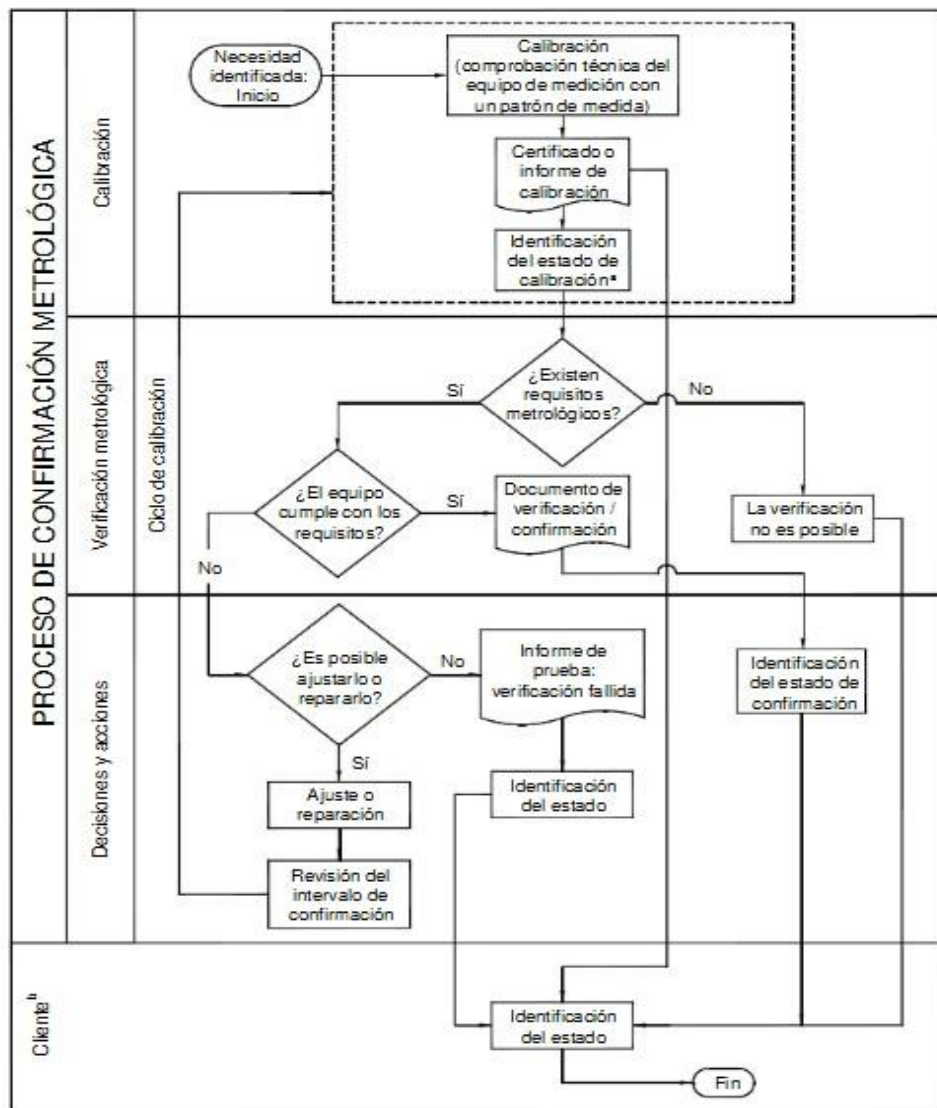
4. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA DEL BANCO DE SUSPENSIÓN

En el capítulo anterior se modeló y simuló el sistema de suspensión de un vehículo, determinándose la fuerza de contacto y la adhesión. Estos valores los que reporta el equipo empleado en el banco de suspensión.

Partiendo del conocimiento físico-mecánico previo del funcionamiento del equipo de medición y la medición que este realiza, se establece un procedimiento de confirmación metrológica del mismo. Donde se especificarán los diferentes parámetros y patrones utilizados en el proceso de comparación directa y método de ensayo durante el desarrollo.

En el proceso de confirmación metrológica (ver figura 17) debe ser diseñado e implementado para asegurar que las características metrológicas del equipo de medición cumplan los requisitos metrológicos del proceso de medición. La confirmación metrológica esta compuesta por la verificación y calibración del equipo. La verificación consiste en aplicar una fuerza conocida al equipo y determinar si el valor reportado está fuera del rango de error o incertidumbre de medición. En caso afirmativo se debe realizar la calibración del equipo, haciendo los ajustes necesarios para el valor medido y este dentro del rango de error del equipo. Este proceso es expandido y mostrado en detalle en la figura (17).

Figura 17. Esquema de la confirmación metrológica según la NTC 10012, adoptada de la misma



Antes de iniciar con el proceso de verificación y/o calibración se deben considerar algunas definiciones, como la caracterización metrológica, calibración, equipos patrones, equipos de referencias, entre otros, [10].

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA METROLOGÍA

La caracterización metrológica se hace a menudo por conveniencia por distinción entre los diversos campos de aplicación; suelen distinguirse como metrología científica, metrología legal y metrología industrial.

4.1.1 Metrología Científica. La metrología científica es el conjunto de acciones que persiguen en el desarrollo de patrones primarios de medición para las unidades base derivadas del sistema internacional de unidades SI.

4.1.2 Metrología Legal. La metrología legal es el conjunto de procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por las autoridades públicas o por referencias de ellos, para especificar y asegurar la calidad y credibilidad de las mediciones realizadas en controles oficiales, en el comercio, la salud, la seguridad y el medio ambiente. Generalmente se rigen por la organización internacional de metrología legal OIML.

4.1.3 Metrología Industrial. La función de la metrología industrial reside en la calibración, control y mantenimiento, adecuado de todos los equipos de medición empleados en la producción, inspección y pruebas. Esto con la finalidad de garantizar productos de calidad en conformidad con las Normas Técnicas Colombianas. El equipo de medición se debe controlar con una frecuencia establecida y de forma tal que se conozca la incertidumbre de las mediciones. Además se debe hacer una calibración de los equipos, contando con equipos patrones certificados con relación válida conocida, por ejemplo patrones nacionales de referencia.

4.1.3.1 Calibración. La calibración establece una relación entre los valores y sus incertidumbres de medición obtenidas a partir de los patrones de medición y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas para establecer

una relación que permita obtener un resultado de medidas a partir de una indicación.

4.2 PATRONES Y MATERIALES DE REFERENCIA

Los equipos, materiales e instrumentos de fuerza patrón, deben presentar unas características metrológicas adecuadas de forma que afecten lo menos posible la determinación de las capacidades de medición y calibración. Estos equipos y materiales necesarios para el proceso de calibración y/o verificación deben estar certificados por un laboratorio acreditado, dentro de los patrones se tienen:

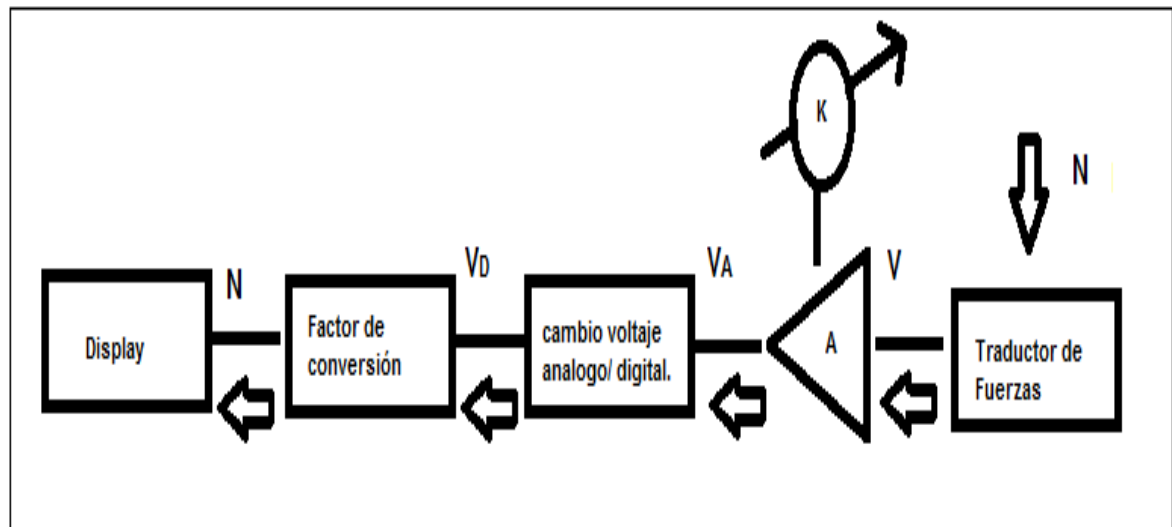
- i) Barra o balanza traductora de fuerza
- ii) Medidor de condiciones ambientales- Termohigrómetro
- iii) Masas patrón de 5 Kg, 10 Kg y 20 Kg,
- iv) Regla milimetrada
- v) Pie de rey
- vi) Balanza patrón, etc.
- vii) Nivelador

4.3 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Recordando el funcionamiento del banco de suspensión, sabemos que es un instrumento para medir fuerzas de tracción y/o compresión que componen una cadena de medición, mediante elementos mecánicos y electrónicos independientes que forman un conjunto completo, con posibilidad de ser intercambiados. El sistema de medición consta de un elemento sensor (traductor de fuerzas) que detecta la fuerza a medir mediante su deformación elástica, la cual se transmite para su lectura de forma directa o a través de mecanismos a una cadena de elementos electrónicos separados (indicador, amplificador, cables eléctricos de unión).

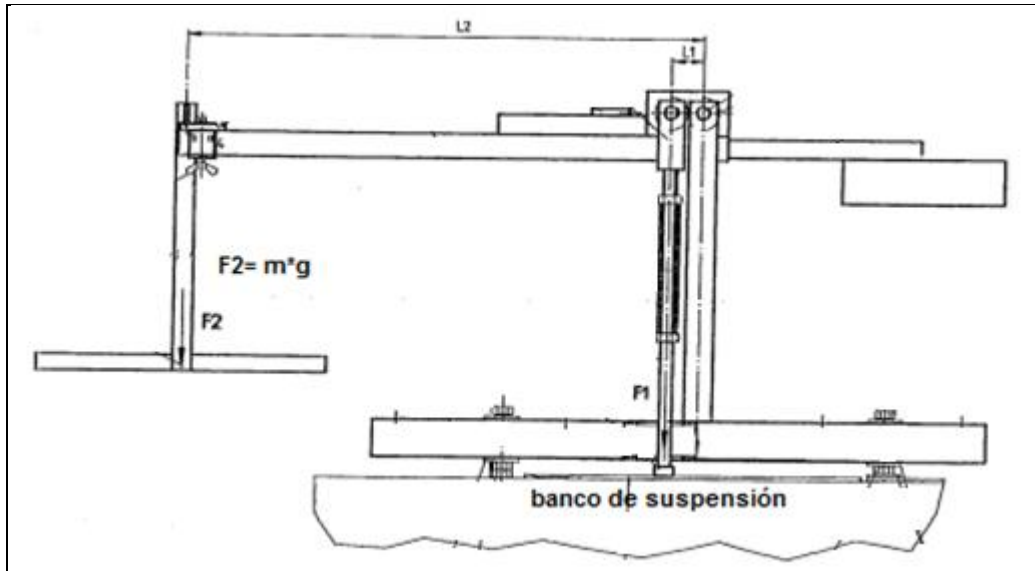
Las indicaciones pueden ser en unidades de fuerza, eléctricas o simplemente en divisiones, siendo necesario que en la calibración de los dos últimos casos se establezca la relación entre las divisiones y las unidades de fuerza (ver figura 18)

Figura 18. Descripción de sistema electrónico del banco de suspensión



En la figura 18 se hace una descripción del sistema electrónico del banco de suspensión, donde se debe resaltar la importancia de la celda de carga (traductora de fuerzas), es ahí donde inicia el proceso de calibración ya que a esta celda de carga se le aplicará una fuerza vertical conocida, empleando una balanza traductora de fuerzas. Esta balanza es una máquina de amplificación por palanca, la cual por medio de sus brazos ejerce una fuerza producida por carga directa, se amplifica utilizando uno o más sistemas mecánicos de palancas, aumentando la fuerza a través de un factor aproximadamente igual a la relación de las longitudes de los brazos de palanca (ver figura 19).

Figura 19. Balanza traductora de fuerzas por medio de equivalencia de torques



Esta balanza traductora de fuerzas hace una equivalencia de torques debido a las longitudes de sus brazos, observando la figura 19 se puede apreciar que al ubicar una masa en la canasta de la balanza se ejercerá una fuerza F_2 debido a la gravedad, tal que la fuerza esta dada por:

$$F_2 = m g \quad (4.1)$$

Donde m es la masa patrón la cual se debe variar y $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ es la gravedad. Paralelamente actúa una fuerza F_1 , debida a la fuerza F_2 producida por palancas. Esta fuerza se ve alterada en un valor δ , siendo F_1 la fuerza que se aplicará en el centro de masa de la plataforma de suspensión, que actuara sobre la celda de carga y viene dada por:

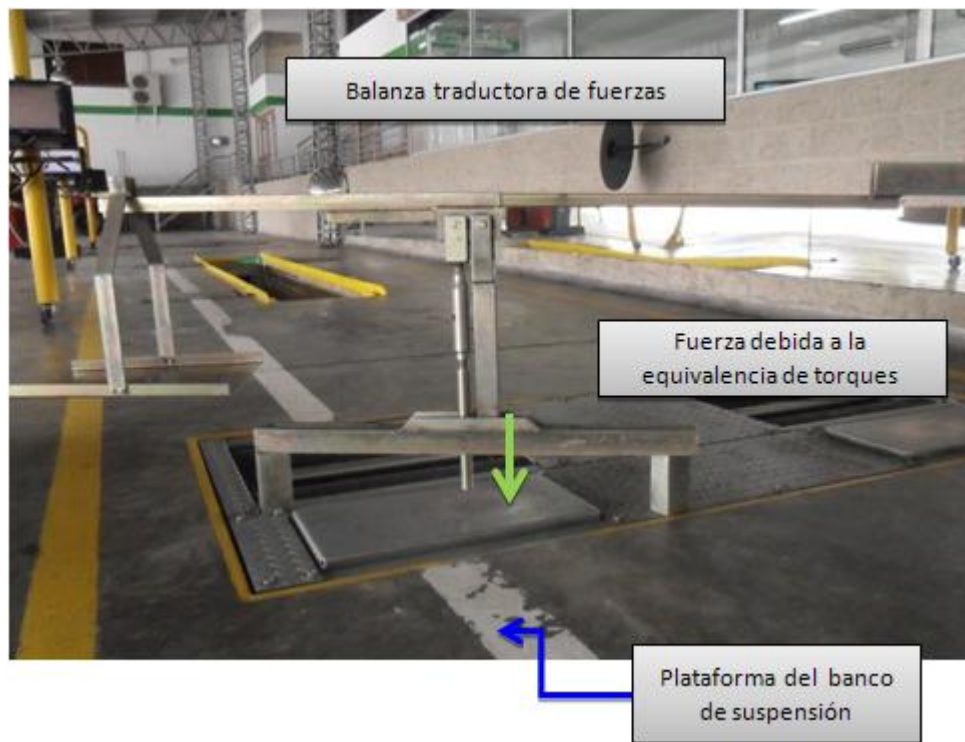
$$F_1 = \frac{F_2 L_2}{L_1} \quad (4.2)$$

Donde L_1 y L_2 son las longitudes de los brazos de la balanza (ver figura 4.3).

En este proceso de calibración se caracterizará para fuerzas crecientes y decrecientes donde se determina la capacidad de medición y calibración del equipo, inicialmente se debe considerar la balanza traductora de fuerzas y se seleccionan varios instrumentos de medición de fuerza o dinamómetros como patrones de transferencia para cubrir el rango completo de fuerza.

Antes de iniciar con el proceso de calibración, el equipo debe tener 30 minutos de estar encendido, además se debe ubicar el centro de masa de la plataforma del banco de suspensión (excentricidad) y también la balanza traductora de fuerzas sobre la misma. Realizando el montaje (figura 20) y revisar que este alineado.

Figura 20. Balanza traductora de fuerzas, la fuerza se ejerce por medio de la equivalencia de torques



Una vez realizado el montaje se procede a registrar las condiciones ambientales temperatura y humedad relativa, para esto, se debe utilizar el Termohigrómetro.

Seguidamente se miden las dimensiones de la balanza traductora de fuerzas, donde se registra la distancias L_1 y L_2 ver figura 17.

Verificar el cero de la balanza y el equipo, es decir registrar el valor del equipo sin carga (sin masa).

Ahora para empezar con el proceso de calibración se debe primero medir las masas patrón en la balanza patrón y registrar los datos, es decir, se debe comprobar que los patrones utilizados estén debidamente calibrados y certificados, para esto se hará un muestreo de las masas patrón en la balanza patrón como se observa en la figura 21.

Figura 21. Balanza patrón y masas patrón antes de iniciar con el muestreo.



Para cada masa se deben tomar 10 muestras. Posteriormente se tomarán las muestras del equipo, ubicando las masas sobre la canasta de la balanza traductora de fuerzas, ver figura 22.

Figura 22. Fuerzas ejercida por el peso y la fuerza ejercida por la equivalencia de torques



Inicialmente se ubica una masa de 10 Kg, debe estar perfectamente centrada en la balanza, se registra el valor. Este procedimiento se hace mínimo 5 veces.

Posteriormente se ubica una masa de 20 Kg para un total de 30 Kg y se registra el valor, se retira la masa de 10 kg y se agrega una de 20 kg para un total de 40 kg se registra la medida, agregar una masa de 20 kg para un total de 60 kg.

Para cada una de las masas se tomarán mínimo cinco registros de lectura del equipo. En principio se hará aumentando la carga y luego en descenso de la carga.

4.4 ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

En un proceso de calibración, ensayo o una simple medición [11,12], es importante que se exprese alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado de dicha medición, de tal forma que aquellos que lo utilizan puedan evaluar su confiabilidad. Este intervalo de confianza es lo que conoce como incertidumbre de la medición, siendo generalmente expresada en probabilidades de distribución, entre las más destacadas están las distribuciones; gaussiana o normal, t-students, rectangular y triangular. Siendo la Gaussiana la más utilizada con un nivel de confianza del 95.45%.

Los fundamentos metodológicos para el cálculo de la incertidumbre de la medición son procedimientos estadísticos [12,13], basados en la premisa de que el instrumento patrón es de una calidad metrológica tal que sus características de repetibilidad, reproducibilidad, reversibilidad, son confiables y es despreciable en el resultado de la medición [14,15]. La incertidumbre de la medición se representa por medio de la siguiente expresión:

$$U = ku_c \quad (4.3)$$

Donde el termino k es el factor de cobertura de la distribución de probabilidad normal o gaussiana, $k = 2$, con una probabilidad del 95.45 % y el termino u_c es la incertidumbre estándar combinada, expresada por:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N u(y_i)^2} \quad (4.4)$$

Donde el término u_c^2 esta dada por la ley de propagación de incertidumbres. Por tanto para analizar la incertidumbre de la medición del banco de suspensión de deben considerar tres pasos:

1. Paso 1: se debe considerar la incertidumbre de los patrones utilizados en el proceso de calibración.
2. Paso 2: se debe establecer la incertidumbre de la balanza traductora de fuerzas por medio de la ecuación (4.2), considerando las incertidumbres de cada uno de los términos de esta ecuación.
3. Paso 3. Se debe considerar la incertidumbre de la celda de carga del banco de suspensión debida a la fuerza F2 aplicada.

4.4.1 INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN DE LA BALANZA PATRÓN

La capacidad de medición y calibración de la balanza patrón, se puede determinar por las fuentes de incertidumbre asociados al peso de una muestra [16,17]. Estas fuentes de incertidumbres son:

- La incertidumbre de la calibración
- Incertidumbre de la medida de la masa
- Incertidumbre de la deriva de la balanza

1. La incertidumbre de la calibración de cualquier instrumento de medida debe garantizar la trazabilidad de los resultados. Durante el proceso de calibración también se realizan medidas, las cuales obviamente no están exentas de error instrumental, este error instrumental se calcula considerando la resolución del equipo [18].

La incertidumbre de la balanza patrón esta dada por:

$$u_b = \frac{res}{\sqrt{12}} \quad (4.5)$$

Donde, la resolución es la mínima división de escala que se observa en el indicador de la balanza patrón.

2. La incertidumbre de la medida de la masa. Depende de la resolución de la balanza y de la precisión de la pesada, la cual contribuye a errores aleatorios asociados a la analista y a las magnitudes de influencia (temperatura, humedad, presión atmosférica, etc.) [18].

Esta incertidumbre depende de la precisión y la resolución de la balanza, tal que:

$$u_m = \sqrt{\sigma_m^2 + \frac{res^2}{12}} \quad (4.6)$$

Donde σ_m es la desviación estándar de la masa, y la resolución es la de la balanza patrón.

El calculo de la desviación estándar, es la raíz cuadrada de la varianza:

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.7)$$

Donde n es el número de muestras registradas durante el proceso de medición, x_i son las diferentes masas y $\bar{x}$ es la masa promedio.

3. Incertidumbre de la deriva de la balanza. Considera el error sistemático debido a que la balanza se va descalabrando con el paso del tiempo y a la diferencia de temperatura a la que se realiza la pesada y a la temperatura a la que se a calibrado la balanza [14,18]. Dada por:

$$u_d = \frac{\pm \text{deriva}}{\sqrt{3}} \quad (4.8)$$

Donde la deriva es el cambio del error del patrón de la última calibración y la actual.

Finalmente de la incertidumbre de la balanza cuantifica todas las fuentes de incertidumbre, estas deben combinarse aplicando a ley de propagación de errores, tal que:

$$u_c(m) = \sqrt{u_b^2 + u_m^2 + u_d^2} \quad (4.9)$$

Por tanto la incertidumbre de la medición utilizando la balanza patronada es:

$$U_{F2} = k u_c(m) \quad (4.10)$$

Donde el término k es el factor de cobertura de la distribución de probabilidad normal, k=2, con una probabilidad del 95.45 %.

Por tanto la fuerza F_2 suministrada a la balanza traductora de fuerzas esta dada por la ecuación:

$$F_2 = F_2 \pm U_{F2} \quad (4.11)$$

4.4.2 Incertidumbre de la medición de la balanza traductora de fuerzas.

Partiendo de la fuerza $F_2 = mg$ y conociendo la incertidumbre de esta fuerza, se puede hacer el cálculo de la incertidumbre para la fuerza F_1 ejercida por la fuerza F_2 debida a la equivalencia de torques, la fuerza F_1 esta dada por:

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot L_2}{L_1} \quad (4.12)$$

Donde los términos L_2 y L_1 son longitudes las cuales presentan incertidumbre de los instrumentos utilizados o los patrones, generalmente la distribución es normal o t-Student, tal que:

$$u(L_i) = \frac{IM, patrón}{k(normal o t-student)} \quad (4.13)$$

Donde el IM.Patrón es igual a la resolución del equipo o instrumento, k el factor de cobertura del instrumento para la distribución normal o t-Student.

La incertidumbre de medición para la balanza traductora de fuerzas esta expresada de la siguiente manera:

$$U_{F1} = ku_c \quad (4.14)$$

Donde u_c es la incertidumbre combinada, dada por:

$$u_c = F_1 * \sqrt{\left(\frac{u_{l1}}{L_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{l2}}{L_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{F2}}{F_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{F1}}{F_1}\right)^2} \quad (4.15)$$

Como se observa en la ecuación (4.15) la ley propagación de las incertidumbres se ve reflejada, es decir se consideran las diferentes incertidumbres de la medición, las longitudes, las fuerzas. En el caso de la incertidumbre de la longitud L1 se tiene también una propagación de incertidumbres debida a la resolución del instrumento utilizado en el proceso de medición. Similarmente ocurre con la longitud L2.

$$u_{L1} = \sqrt{\left(\frac{res}{\sqrt{12}}\right)^2 + \left(\frac{inc}{k}\right)^2 + \left(\frac{error}{\sqrt{3}}\right)^2 + rep^2} \quad (4.16)$$

Los términos res= resolución, incertidumbre y error del instrumento, y el termino Rep., es la repetibilidad de la toma de muestras.

$$u_{L2} = \sqrt{\left(\frac{res}{\sqrt{12}}\right)^2 + \left(\frac{inc}{k}\right)^2 + \left(\frac{error}{\sqrt{3}}\right)^2 + rep^2} \quad (4.17)$$

Además como ya se había calculado la incertidumbre de la fuerza F_2 , se puede calcular más fácilmente la incertidumbre.

$$u_{F2} = U_{F2} \quad (4.18)$$

El término u_{F1} , hace referencia a la repetibilidad en la toma de muestras.

$$u_{F1} = rep \quad (4.19)$$

La repetibilidad está dada por:

$$\overline{\sigma_{n-1}} = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \quad (4.20)$$

La repetibilidad es proporcional a la desviación estándar ecu. (4.7), donde n es el número de muestras registradas.

Por tanto la fuerza F_1 , debe reportarse por medio de:

$$F_1 = F_1 \pm U_{F1} \quad (4.21)$$

4.4.3 Incertidumbre del Banco de Suspensión. Para la incertidumbre del banco de suspensión se debe considerar la resolución del equipo, siendo la resolución la mínima división de escala que se observa de la indicación del analizador de suspensión.

$$u_a = \frac{\text{resolución}}{\sqrt{12}} \quad (4.22)$$

Se debe considerar la repetibilidad en la toma de muestras, registradas por el banco de suspensión.

Finalmente la incertidumbre combinada se obtiene de aplicar la ley de propagación de las incertidumbres, tal que:

$$u_{cb} = a * \sqrt{\left(\frac{u_{l1}}{L_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{l2}}{L_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{F2}}{F_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{F1}}{F_1}\right)^2} \quad (4.23)$$

Donde a es la fuerza reportada por en el banco de suspensión, cuyas unidades pueden ser en Newton o Kilogramo fuerza.

Ahora bien la U_b del banco de suspensión, se calcula considerando la ecu.(4.14), por tal razón, la fuerza reportada por el banco de suspensión viene dada por:

$$F_b = F_b \pm U_b \quad (4.24)$$

4.5 ADQUISICIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

Para la adquisición de datos experimentales se consideraron los siguientes ensayos:

1. Muestras registradas en el banco de suspensión ubicando un vehículo Ford, modelo Focus 1.6, con tipo de suspensión: en el eje delantero columna McPherson y en el eje trasero Amortiguador tipo convencional y un automóvil FIAT modelo 1995.
2. Muestras registradas en el banco de suspensión ubicando la balanza traductora de fuerzas.

1. En el primer ensayo se ubica el vehículo sobre la plataforma del banco de suspensión, donde se realizan dos tipos de pruebas, según el método EUSAMA:

I. Medición del grado de adherencia a diferentes presiones de inflado de los neumáticos. En esta prueba se realizaron las mediciones relativas a distintas presiones de inflado de los neumáticos, las cuales se fijaron en +45%, +30%, +15%, presión ideal, -15%, -30%, -45%, respecto a la presión del vehículo sin carga es decir, $2,1 \frac{Kg}{cm^2}$.

II. Medición de la variación en el grado de adherencia debida al peso registrado. En esta prueba se analizaron las mediciones para el mismo vehículo, registrándolo tres veces, es decir, se consideraron tres muestras, donde se llaman V_1, V_2 y V_3 a los respectivos registros de vehículo, tomando cuatro pesos por cada uno de ellos, es decir para cada eje se registraron dos muestras

I. Primera prueba

En la primera prueba, se mide el grado de adherencia a diferentes presiones de inflado de los neumáticos, para esto, se utiliza un profundímetro el cual mide los

PSI de la llanta y posteriormente se pasa el vehículo sobre la plataforma vibratoria para medir la adherencia, los datos repostados están registrados en la tabla 4:

Tabla 4: Adherencia en función de la presión de inflado de los neumáticos

Presión PSI %	Peso [Kg/cm ²]	Adherencia A delantera derecha			Adherencia A delantera izquierda			Adherencia A trasera derecha			Adherencia A trasera izquierda		
-45	1,15	90	89	91	91	90	89	91	89	91	89	87	89
-30	1,47	83	85	84	85	84	86	85	86	85	87	89	87
-15	1,7	78	79	80	78	79	77	82	83	83	83	80	83
Correcta	2,1	66	67	65	68	66	68	76	76	75	80	82	80
15	2,415	66	65	68	67	66	68	75	75	77	79	75	79
30	2,73	58	56	58	57	56	55	71	71	72	75	76	75
45	3,045	51	50	52	49	50	48	66	64	64	67	68	67

En la tabla 4 se observa la adherencia de los neumáticos con respecto a la plataforma del banco de suspensión para los ejes delanteros y traseros, donde el factor de presión de los neumáticos afecta el cálculo de la adherencia.

Haciendo el cálculo estadístico de los datos experimentales, mostrados en la tabla 4. Se obtienen los datos de la tabla 5.

En la Tabla 5 se observan los datos estadísticos analizados mediante los datos experimentales.

Tabla 5. Datos estadísticos de la adherencia en función de la presión de la llanta.

Presión PSI %	Peso [Kg/cm ²]	$\bar{A}$ Eje Delantero	$\bar{A}$ Eje Trasero	σ_A Eje Delantero	σ_A Eje Trasero	Z_A Eje Delantero	Z_A Eje Trasero	Distribución normal Eje Delantero	distribución normal Eje Trasero
-45	1,15	90	89,3	0,85	1,37	1,17	1,21	37,90%	38,69%
-30	1,47	84,5	86,5	1,22	1,38	0,41	1,08	15,91%	35,99%
-15	1,7	78,5	82,3	1,74	1,11	0,86	0,30	30,51%	11,79%
correcta	2,1	66,7	78,17	4,48	2,61	0,37	0,83	14,43%	29,67%
15	2,415	66,7	76,7	3,94	1,80	0,34	0,93	13,31%	32,38%
30	2,73	56,7	73,3	6,40	2,05	0,21	1,14	8,32%	37,29%
45	3,045	50	66	6,18	1,53	0,32	1,31	12,55%	40,49%

En la tabla 5, se observa el $\bar{A}$ promedio de la adhesión o adherencia, σ_A la desviación estándar de la adhesión, Z_A es el termino de la $P(A)$ distribución de probabilidad normal (ver anexo 1) para los ejes delantero y trasero, respectivamente.

Donde, el termino

$$Z_A = \frac{\text{valor deseado} - \text{valor medio}}{\text{desviación estándar}} = \frac{x - \bar{A}}{\sigma_A} \quad (4.25)$$

Define el porcentaje de la distribución de probabilidad normal o gaussiana dado por la siguiente ecuación:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_A} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{A}}{\sigma_A} \right)^2 \right] \quad (4.26)$$

Considerando el valor de la desviación estándar experimental de la media $\overline{\sigma_A} = 0,4714$, cuyo valor de incertidumbre estándar es proporcional a este, tal que, $u = \frac{\overline{\sigma_A}}{1} = \frac{\sigma_A}{\sqrt{n}}$, con $n = \text{numero de mediciones}$, se tiene que

$u = 0,4714$, tal que la incertidumbre de la medición con relación a la presión del inflado del neumático es:

$$U = ku = 0,9428 \quad (4.27)$$

Con $k = 2$, para un nivel de confianza del 95,45 %. Por tanto, el valor de la adhesión es:

$$A = 66,7 \pm 0,9428 \% \quad (4.28)$$

Finalmente se puede decir que la presión del inflado de los neumáticos es un factor determinante para calcular la adherencia mediante la suspensión por el método EUSAMA: a mayor porcentaje de inflado de los neumáticos menor adherencia.

II. Segunda prueba

En la segunda prueba se consideró el registro de un vehículo pasado por el banco de suspensión tres veces, donde se denominó V_1, V_2 y V_3 para cada uno de los registros.

Tabla 6. Muestras obtenidas de un automóvil FIAT, modelo 1995

Automóvil FIAT								
Muestras	Eje Delantero				Eje Trasero			
	Peso Der [Kg]	Peso Izq. [Kg]	A Der [%]	A Izq. [%]	Peso Der [Kg]	Peso Izq. [Kg]	A Der [%]	A Izq. [%]
V1	223	250	79	91	225	218	69	71
V2	242	257	78	89	226	218	67	70
V3	234	252	80	92	218	224	69	74

En la tabla 6 se exponen los valores registrados para tres muestras, donde cada muestra tiene una clasificación en eje delantero y trasero para el cálculo de cada

una de sus ruedas, midiendo el peso de derecha e izquierda y su respectiva adhesión.

Haciendo el cálculo probabilístico de los valores que el banco de suspensión esta midiendo para este automóvil en particular, se tiene un peso promedio de derecha e izquierda, además de calcular la incertidumbre de medición de este caso particular.

Tabla 7. Análisis estadístico del automóvil FIAT sobre el banco de suspensión

Automóvil FIAT								
Muestra	Eje Delantero				Eje Trasero			
	Peso Der [Kg]	Peso Izq. [Kg]	A Der [%]	A Izq. [%]	Peso Der [Kg]	Peso Izq. [Kg]	A Der [%]	A Izq. [%]
V1	223	250	79	91	225	218	69	71
V2	242	257	78	89	226	218	67	70
V3	234	252	80	92	218	224	69	74
$\bar{V}$	233	253,0	79	90,7	223	220	68,3	71,7
σ_V	7,789	2,944	0,816	1,247	3,559	2,828	0,943	1,700
Z_V	0,257	1,359	1,225	1,069	3,372	5,303	0,707	1,373
$\overline{\sigma_V}$	4,497	1,700	0,471	0,720	2,055	1,633	0,544	0,981
u	4,497	1,700	0,471	0,720	2,055	1,633	0,544	0,981
U	8,994	3,399	0,943	1,440	4,110	3,266	1,089	1,963
Distribución Normal	9,87%	42,15%	39,44%	35,54%	49,96%	90,60%	27,94%	42,47%

Finalmente la adhesión de los ejes, esta dada por la suma de la adhesión derecha e izquierda, tal que:

$$A_{eje\ delantero} = 84,83 \pm 1,19 \% \quad (4.29)$$

$$A_{eje\ trasero} = 70,02 \pm 1,52 \% \quad (4.30)$$

2. En el segundo ensayo se ubica la balanza traductora de fuerzas sobre la plataforma del banco de suspensión, se inicia el proceso de medición considerando una masa inicial de 10 Kg, la cual va aumentando considerablemente, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 8. Datos experimentales registrados por la fuerza ejercida por la balanza traductora de fuerzas en la plataforma del banco de suspensión

Masa patrón	Banco de suspensión			Balanza traductora de Fuerzas								
M1 [kg]	EM1 [kg]	EM2 [kg]	EM3 [kg]	BM1 [kg]	BM2 [kg]	BM3 [kg]	L1 [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]
10	156,95	157,89	154,98	154,9	155,0	154,9	50,04	775,01	50,01	775,01	50,04	775,01
20	321,83	323,3	320,34	309,8	309,7	310,0	50,04	775,03	50,04	774,82	50,01	775,03
30	486,06	487,29	485,43	464,7	464,8	464,9	50,03	775,01	50,02	775,01	50,01	775,01
40	655,05	659,93	658,98	619,4	619,5	619,4	50,05	775,02	50,04	775,02	50,05	775,02
50	816,76	819,36	803,56	774,7	774,5	774,7	50,02	775,03	50,02	774,78	50,02	775,03
70	1142,8	1143,8	1125,2	1084,8	1084,6	1084,6	50,01	775,03	50,02	775,04	50,02	775,02

Ahora para hacer el cálculo estadístico de los datos experimentales de longitud, se deben considerar la resolución del patrón utilizado en la medición: en este caso es la regla milimetrada y el pie de rey, para el cálculo estadístico de los datos experimentales de fuerza se analiza de la forma convencional, como se hizo anteriormente, observar en la tabla 9.

Tabla 9. En esta tabla se observan los datos promedios de la medición realizada al ubicar la balanza traductora de fuerzas sobre el banco de suspensión, aumentando la masa en la canasta de esta balanza

Masa patrón	Banco de suspensión			Balanza traductora de Fuerzas				
M1	$\overline{EM}$	σ_{EM}	$\overline{\sigma_{EM}}$	$\overline{BM}$	σ_{BM}	$\overline{\sigma_{BM}}$	$\overline{L1}$	$\overline{L2}$
10	156,61	1,2126	0,7001	154,9	0,0438	0,02529	50,03	775,01
20	321,82	1,2084	0,6977	309,8	0,1127	0,06508	50,03	774,96
30	486,26	0,7724	0,4459	464,8	0,0759	0,04381	50,02	775,01
40	657,99	2,1124	1,2196	619,4	0,0584	0,03369	50,047	775,02
50	813,23	6,9173	3,9937	774,6	0,1178	0,06801	50,02	774,9467
70	1137,3	8,5469	4,9346	1084,7	0,10	0,05939	50,017	775,03

Ahora considerando la resolución de los patrones utilizados; ver tabla 10.

Tabla 10. Resolución, error e incertidumbre de los patrones utilizados en la medición

Patrón de medición		Unidades
Pie de rey - resolución	0,01	mm
Pie de rey- incertidumbre	0,02	mm
Pie de rey - error Max. no corr.	0,03	mm
Regla milimetrada- resolución	0,05	mm
Regla milimetrada- incertidumbre	0,01	mm
Regla milimetrada - error Max. no corr.	0,05	mm
Masa - resolución	0,010	Kg
Masa - incertidumbre	0,006	Kg
Masa - error Max. no corr.	0,002	Kg

Utilizando la tabla 10 se encuentra la incertidumbre de medición para el banco de suspensión considerando la balanza traductora de fuerzas, además calculando la diferencia entre las fuerzas obtenidas en la balanza y el banco, se tiene que la

diferencia entre los datos experimentales registrados por el equipo y por la balanza traductora de fuerzas, ver tabla 11.

Tabla 11. Diferencia entre los datos experimentales registrados por el equipo y la balanza traductora de fuerza

$\overline{EM}$	$\overline{BM}$	ΔE	E%
156,61	154,9	1,71	1,10
321,82	309,8	12,02	3,88
486,26	464,8	21,46	4,62
657,99	619,4	38,59	6,23
813,23	774,6	38,63	4,99
1137,3	1084,7	52,6	4,85

Tabla 12. Cálculo de la incertidumbre del banco de suspensión

Masa patrón	Banco de suspensión	Balanza traductora de Fuerzas						Incertidumbre			
M1	Res_M	$\overline{EM}$	$\overline{BM}$	$\overline{L1}$	Res_{pi}	$\overline{L2}$	Res_{reg}	up	u	k	U
10	0,01	157,42 0	154,9	50,03	0,01	775, 01	0,05	0,19 9	0,812 78	2	2,812 8
20		322,56 5	309,8	50,03		774, 96		0,24 7			
30		486,67 5	464,8	50,02		775, 01		0,29 1			
40		657,49 0	619,4	50,047		775, 02		0,33 8			
50		818,06 0	774,6	50,02		774, 95		0,38			
70		1143,3 10	1084, 7	50,017		775, 03		0,46 6			

Finalmente el valor medido en peso por el banco de suspensión es:

$$w = (\bar{W} \pm 2,81)Kg \quad (4.31)$$

Estos datos experimentales se deben registrar dentro de un certificado de ensayo o calibración, el cual debe tener unas características específicas, las cuales se rigen por las normas técnicas colombianas 10012 y 17025, como el objetivo primordial de este trabajo era definir una metodología de investigación no se hará énfasis en el proceso administrativo de realizar el certificado.

El análisis experimental realizado permite validar el cálculo del error cometido en la estimación de los valores de adherencia en condiciones normales de medida para un automóvil estándar y en función de la presión de inflado de las ruedas. De igual forma se valida el error que se comete en la determinación de la lectura de la plataforma del banco de suspensión al emplear la balanza traductora de fuerza, situación que se realiza en el procedimiento de verificación y calibración del equipo. Es importante destacar que de la etapa de verificación y calibración del equipo se debe hacer un reporte de los valores encontrados y sus incertidumbres de medición, registrándolos por escrito en un certificado, cuya presentación y realización es reglamentada por normas técnicas Colombianas. La realización de este certificado final no es presentado en este trabajo de grado ya que no fue definido como objetivo. La empresa CDA San Pedro en su necesidad inicial deseaba conocer de manera exacta cada uno de los términos que se presentaban en el certificado que le expedía la empresa contratada para hacer la calibración de sus equipos. La finalidad de esta necesidad es la de tener un mejor control sobre cada equipo y realizar procedimientos correctivos para incrementar el tiempo de vida de cada uno. Con el trabajo de grado realizado se pudo establecer cuál es la estructura teórico experimental que se involucra en la verificación y calibración de un equipo, lográndose establecer de manera cuantitativa las fuentes de error en el cálculo de los valores medidos por el equipo.

CONCLUSIONES

- Se presentó un método sencillo para calcular la adhesión de la rueda de un vehículo con el contacto en la plataforma del banco de suspensión, mediante un modelo matemático de un cuarto de vehículo sobre la plataforma vibratoria del banco de suspensión. Donde se comprendió la fuerza de contacto para el calculo de la adhesión y la función de transferencia correspondiente al modelo considerando por la norma EUSAMA.
- Se estudió el caso límite, en el modelo del cuarto de vehículo cuando la masa suspendida tiende a un valor muy grande, se puede decir que la masa suspendida se encuentra sujeta por uno de sus extremos a una pared fija y en el otro se comporta como un sistema masa resorte normal, es ahí cuando el modelo se puede comparar con los estudios realizados anteriormente.
- Se estableció el correcto funcionamiento del banco de suspensión y bajo que parámetros funciona, considerando esto, se realizó una metodología en el proceso de confirmación metrológica y la metodología para el calculo de la incertidumbre de medición.
- El método y procedimiento para la calibración del equipo se debe realizar periódicamente para mantenerlo dentro del rango de medición establecido por el fabricante.
- En términos generales se desarrolló una metodología que permite estudiar en detalle el correcto funcionamiento de un equipo de medida empleado en una CDA. El procedimiento recurre a un modelo matemático para entender y determinar el rango de error de las variables físicas medidas. De esta manera la verificación y calibración del equipo se realiza a partir de los análisis matemáticos obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

AVNER I.E.D., KEIJZER J.H., VAN NORDEN G.A.G. (European Shock Absorber Manufacturer's Association), suspension performance testing, IMechE 1976 Automotive Engineer, augustus 1976.

BALCAEN D., Studie van de metingen op en ophangingstestbank op basis van een gecombineerd testing apparatus, SAE technical paper series SAE 2000.

CALVO J.A, DIAZ V., SAN ROMAN J.L., Establishing inspection criteria to verify the dynamic behavior of vehicle suspension system by platform vibrating test bench., E.P.S. Carlos III university of Madrid, department of mechanical Engineering, Inderscience Enterprises Ltd, Int. J. Vehicle Design, vol38, No. 4, 2005.

Clasificación de instrumentos de metrología de masa y magnitudes derivadas. CEM 1ª Edición 2010.

Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medición, 1ª edición 2009.

Guía EURAMENT/ CG-04/V.01 "*Incetidumbre de mediciones de fuerzas*" marzo 2010.

Guía Técnica Colombiana "*Vocabulario internacional de metrología, conceptos fundamentales, técnicos y términos asociados*" GTC-ISO/IEC 99. 2009.

Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, Ginebra, 1993.

http://unal.academia.edu/EdgarYobanyBuitragoBetancourt/Books/669549/DISENO_DEL_SISTEMA_DE_SUSPENSION

IZQUIERDO, A.; VERA, C y DIAZ, V. Teoría de los vehículos automotores, “da. Edicion, ETS ingenieros industriales, Universidad de Madrid.

J. BALABIN. B. KUROV y S. LPTEV. Ensayo de automóviles, 2 ed. Moscu. Mashinostroyenye, 1988.

J.C. PARRA MÁRQUEZ, J. TORNERO MONSERRAT. Modelamiento de comportamiento dinámico de un cuarto de vehículo utilizando la técnica de BOND GRAPH.

J.J. ARBELÁEZ and J.P. MARÍN Q. Scientia et Technical, Vol. XIII, numeric 035.

Norma Técnica Colombiana 10012 “*sistemas de gestión de la medición para los procesos de medición y equipos de medición*”. 2003.

Norma Técnica Colombiana 17025 “*Requerimientos generales para la competencia de ensayos de los laboratorios de ensayo y calibración* ” 2005.

Norma Técnica Colombiana 2031 “ *Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático. Requisitos metrológicos y técnicos de ensayo*” 2003.

Norma Técnica Colombiana 2194 “ *Vocabulario Metrológico*” 2003.

Norma técnica colombiana NTC 5375 “ *Revisión técnico mecánica y de emisión contaminantes en vehículos automotores*”, 2010.

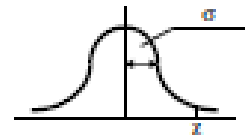
Norma técnica colombiana NTC 5385 “*Centro de Diagnóstico Automotor, Especificaciones del servicio*”, 2010.

VELASCO, Raúl. Curso básico de vibraciones. Metas y Metrologos asociados, México 2003.

Vocabulario internacional de metrología VIM, 3ª edición 2008.

ANEXO

ANEXO 1 - DISTRIBUCIÓN NORMAL



Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0.0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0.1	0,0398	0,0438	0,0479	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0711	0,0754
0.2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0.3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0.4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0.5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0.6	0,2258	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2518	0,2549
0.7	0,2580	0,2612	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0.8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2996	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0.9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1.0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1.1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1.2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1.3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1.4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1.5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1.6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1.7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1.8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1.9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2.0	0,47723	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2.1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2.2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2.3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2.4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2.5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2.6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2.7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2.8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2.9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3.0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
3.1	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
3.2	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
3.3	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
3.4	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998
3.5	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998
3.6	0,4998	0,4998	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3.7	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3.8	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3.9	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
4.0	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000